

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

Datové přenosy v mobilních sítích
Data transmissions in mobile networks

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Datum

Podpis

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Romanu Šebestovi, Ph.D. za přínosné rady a informace při zpracování této diplomové práce.

Seznam použitých symbolů a zkratek

16QAM	16-Quadrature Amplitude Modulation	16-stavová kvadrurní amplitudová modulace
3GPP	3rd Generation Partnership Project	Partnerský projekt sítě 3. generace
64QAM	64-Quadrature Amplitude Modulation	64-stavová kvadrurní amplitudová modulace
AB	Access Burst	Přístupový burst, GSM
A-GPS	Assisted Global Positioning System	Asistovaný globální poziční systém
ALOHA	ALOHA	Přístupový protokol
AMC	Adaptive Modulation and Coding	Adaptivní modulace a kódování, HSDPA
AMPS	Advanced Mobile Phone System	Pokročilý mobilní telefonní systém, USA
AMR	Adaptive Multi-Rate audio codec	Audio kodek s adaptivní přenosovou rychlostí
AMR	Adaptive Multi-Rate	Adaptivní řečový kodek s multi rychlostí, GSM
AMRAD	Automatizovaný Městský RADiotelefon	První československý telefonní systém
AMTS	Advanced Mobile Telephone System	Pokročilý mobilní telefonní systém, Japonsko
ARFCN	Absolute Radio Frequency Channel Number	Číslo označení konkrétního kanálu v síti GSM
ARP	Autoradiopuhelin	Autorádiotelefon, analogová finská síť OG
ARQ	Automatic Repeat reQuest	Automatické požadování opakování přenosu
ARQ	Automatic Repeat Request	Automatická žádost o opakování, EDGE
AuC	Authentication Center	Autentizační centrum, GSM
BCCH	Broadcast Control Channel	Vysílací řídicí kanál, GSM, UMTS
BG	Border Gateway	Hraniční brána, GPRS
BCH	Broadcast Channels	Vysílací kanály, GSM, UMTS
BLER	Block Error Rate	Poměr správně a chybně přijatých bloků (GPRS)
BSC	Base Station Controller	Řídicí uzel základnových stanic, GSM
BSIC	Base transceiver Station Identity Code	Identifikační kód základnové stanice, GSM
BSS	Base Station Subsystem	Subsystem základnových stanic, GSM
BTS	Base transceiver station	Základnová stanice mobilní sítě
CAMEL	Customised Applications for Mobile networks Enhanced Logic	Speciální aplikace pro mobilní síť s rozšířenou logikou
CBCH	Cell Broadcast Channel	Buňkový vysílací kanál, GSM
CBMS	Coin Box Mobile Station	Mincovní mobilní stanice
CC	Component Carrier	Prvková nosná, LTE

CCBS	Completion of Calls to Busy Subscribers	Dokončení hovoru k obsazenému uživateli
CCCH	Common Control Channels	Obecné řídicí kanály, GSM, UMTS
CCTrCH	Coded Composite Transport Channels	Složené kódované transportní kanály, UMTS
CEPT	Conference Europeenne des Postes et Telecommunications	Evropský úřad telekomunikací a pošt
CI	Cell Identifier	Identifikační číslo buňky, GSM
CLIP	Calling Line Identification Presentation	Zamezení identifikace volajícího
CLIR	Calling Line Identification Restriction	Zamezení identifikace volanému
CN	Core Network	Jádro sítě
CN	Core Network	Pátevní síť, UMTS
CoMP	Coordinated Multiple Point transmission and reception	Řízené vícebodové vysílání a příjem, LTE Advanced
CQI	Channel Quality Indication	Informativní ukazatel kvality kanálu, UMTS
CRC	Cyclic Redundancy Check	Kontrolní součet
CSD	Circuit Switched Data	Okruhově orientovaný přenos dat
CTCH	Common Traffic Channel	Společný provozní kanál, UMTS
D-AMPS	Digital - Advanced Mobile Phone System	Digitální - pokročilý mobilní telefonní systém, USA
DB	Dummy Burst	Výstelkový burst, GSM
DCC	Digital Color Code	Digitální barevný kód, AMPS
DCCH	Dedicated Control Channels	Dedikované (věnované) řídicí kanály, GSM
DCS	Digital Cellular Service	Digitální mobilní služba
DCH	Dedicated Channel	Dedikovaný kanál, UMTS
DMS	Data Mobile Station	Datová Mobilní Stanice
DMTF	Dual Tone Multiple Frequency	Dvoutónová frekvenční dovolba
DNS	Domain Name Server	Server doménových adres
DPCCH	Dedicated Physical Control Channel	Dedikovaný fyzický řídicí kanál, UMTS
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel	Dedikovaný fyzický datový kanál, UMTS
DTCH	Dedicated Traffic Channel	Dedikovaný provozní kanál, UMTS
DTM	Dual Transfer Mode	Mód dvojího přenosu, GPRS
E-AGCH	E-DCH Absolute Grant Channel	E-DCH kanál definitivního potvrzování, HSUPA
ECT	Explicit Call Transfer	Sloučení dvou příchozích hovorů, GSM
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution	Vylepšené datové přenosy pro evoluci sítě GSM
E-DCH	Enhanced DCH	Vylepšený dedikovaný kanál, HSUPA

E-DPCCH	E-DCH Dedicated Physical Control Channel	E-DCH dedikovaný fyzický řídicí kanál, HSUPA
E-DPDCH	E-DCH Dedicated Physical Data Channel	E-DCH dedikovaný fyzický datový kanál, HSUPA
E-EDGE	Evolved EDGE	Vyvinuté EDGE
EFR	Enhanced Full-Rate	Vylepšený řečový kodek s plnou rychlostí, GSM
EGPRS	Enhanced GPRS	Vylepšené GPRS
E-GSM	Extended GSM	Rozšířené GSM
E-HICH	E-DCH HARQ Indicator Channel	E-DCH kanál indikace HARQ, HSUPA
EIR	Equipment Identity Register	Registr mobilních stanic, GSM
eNodeB	evolved Node B	vyvinuté Node B
EPS	Evolved Packet System	Vyvinutý paketový systém, 3G+
E-RGCH	E-DCH Relative Grant Channel	E-DCH kanál relativního potvrzování, HSUPA
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Evropský telekomunikační standardizační institut
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network	Vyvinutá UMTS pozemní rádiová přístupová síť
FACCH	Fast Associated Control Channel	Rychlý přidružený řídicí kanál, GSM
FACCH/E	Fast Associated Control Channel/ECSD	Rychlý přidružený řídicí kanál/ECSD
FACH	Forward Access Channel	Dopředný přístupový kanál, UMTS
FB	Frequency Correction Burst	Burst synchronizace frekvence, GSM
FCC	Forward Control Channels	Dopředné řídicí kanály, AMPS
FCCH	Frequency Correction Channel	Kanál frekvenčních úprav, GSM
FDMA	Frequency Division Multiple Access	Frekvenčně dělený mnohonásobný přístup
FEC	Forward Error Correction	Dopředná oprava chyb
FM	Frequency Modulation	Frekvenční modulace
FPS	Fast Packet Scheduling	Rychlé paketové plánování, HSDPA
FSK	Frequency-shift keying	Frekvenční klíčování
GGSN	Gateway GPRS Support Node	Brána sítě služeb GPRS
GMSK	Gaussian minimum-shift keying	Gaussovské klíčování s minimálním posunem
GNSs	GPRS Support Nodes	Podpůrné uzly GPRS
GPRS	General Radio Packet System	Obecný rádiový paketový systém, GSM
GSM	Groupe Spécial Mobile	Speciální mobilní skupina
GSM	Global System for Mobile communications	Světový systém pro mobilní komunikaci
GTP	GPRS Tunneling protocol	Tunelovacího protokol GPRS

HARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest	Hybridní automatická žádost o opakování, EDGE
HCR	High Chip Rate	Vysoká čipová rychlost, UMTS
HLR	Home Location Register	Domácí lokační registr, GSM
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data	Vysoce rychlostní datové spojení s přepínáním okruhů
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access	Vysokorychlostní paketový přístup ve směru downlink, UMTS rel5
HS-DPCCH	High Speed Dedicated Physical Control Channel	Vysokorychlostní dedikovaný fyzický řídící kanál, HSDPA
HS-DSCH	High Speed Downlink Shared Channel	Vysokorychlostní sdílený kanál ve směru downlink, HSDPA
HS-PDSCH	Speed Physical Downlink Shared Channel	Vysokorychlostní fyzický sdílený kanál ve směru downlink, HSDPA
HS-SCCH	High Speed Shared Control Channel	Vysokorychlostní sdílený řídící kanál, HSDPA
HTTP	HyperText Transfer Protocol	Hypertextový přenosový protokol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Organizace elektrických a elektronických inženýrů
IMEI	International Mobile Equipment Identity	Identifikační číslo mobilní stanice, GSM
IMS	IP Multimedia Subsystem	IP multimediální podsystém, UMTS rel4
IMSI	International Mobile Subscriber Identity	Unikátní mezinárodní identifikační číslo uživatele, GSM
IMT Advanced	International Mobile Telecommunications Advanced	Pokročilá mezinárodní mobilní telefonie, ITU-R
IMT-2000	International Mobile Telephony - 2000	Mezinárodní mobilní telefonie - 2000
IMTS	Improved Mobile Telephone Service	Vylepšená mobilní telefonní služba, USA
IS-136	Interim Standard-136	Prozatímní standard 136, USA
IS-54	Interim Standard-54	Prozatímní standard 54, USA
ISDN	Integrated Service Digital Network	Digitální síť s integrovanými službami
ISP	Internet Service Provider	Poskytovatel internetového připojení
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunications standardization sector	Mezinárodní telekomunikační unie - Sektor standardizace telekomunikací
IWU	Inter Working Unit	Modem pro přístup do PSTN sítě, GSM
LAI	Location Area Identifier	Číslo lokální oblasti, GSM
LAPDm	Link Access Protocol on the Dm Channel	Protokol linkového přístupu na Dm kanálu, GSM
LAPM	Link Access Procedure for Modems	Modemová procedura přístupu k lince
LCR	Low Chip Rate	Nízká čipová rychlost, UMTS

LTE	Long Term Evolution	"Dlouhodobý rozvoj", EPS
MAHO	Mobile Assisted HandOver	Handover řízený za spoluúčasti mobilní stanice
MCS	Modulation and Coding Scheme	Modulační a kódové schéma, EGPRS
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output	technika více vstupů, více výstupů, HSPA+, LTE
MISO	Multiple Input Single Output	Více vstupů jeden výstup, Evolved EDGE
MM	Mobility Management	Správa mobility, podvrstva 3. vrstvy, GSM
MSC	Mobile Switching Centre	Mobilní ústředna, GSM
MTD	Mobiltelefonisystem D	Mobilní telefonní systém D
MTS	Mobile Telephone System	Mobilní telefonní systém, USA
MTX	Mobile Transmission Exchange	Mobilní telefonní ústředna
NB	Normal Burst	Normální burst, GSM
NCH	Notification Channel	Oznamovací kanál, GSM
NCHO	Network Controlled HandOver	Sítí řízený handover
NMT	Nordic Mobile Telephony	Severská mobilní telefonní síť, Evropa
NMT-F	Nordic Mobile Telephone "Français"	NMT norma přizpůsobená pro užití ve Francii
Node B	Node B	Uzel B - základnová stanice, UMTS
NSS	Network Switching Subsystem	Síťový přepínací subsystém, GSM
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Ortogonalní multiplex s kmitočtovým dělením
OFDMA	Othogonal FDMA	Ortogonalní FDMA, LTE
OLT	Offentlig Landmobil Telefoni	Veřejná Pozemní Mobilní Telefonie
OMC	Operation and Maintenance Center	Obslužný uzel provozu a údržby, GSM
OSS	Operation Support Subsystem	Provozní podpůrný subystém, GSM
PACCH	Packet Associated Control Channel	Přiřazený paketový řídicí kanál, GPRS
PAGCH	Packet Access Grant Channel	Paketový kanál povolení přístupu, GPRS
PAN	Piggy-backed Ack/Nack	Kombinované potvrzování, E-EDGE
PBCCH	Packet Broadcast Control Channel	Vysílací řídicí paketový kanál, GPRS
PCCCH	Packet Common Control Channel	Obecný řídicí paketový kanál, GPRS
P-CCPCH	Primary Common Control Physical Channel	Primární společný řídicí fyzický kanál, UMTS
PCCH	Paging Control Channel	Vyhledávací řídicí kanál, UMTS
PCPCH	Physical Common Packet Channel	Fyzický společný paketový kanál, UMTS
PCS	Personal Communications Service	Osobní komunikační služba
PCU	Packet Control Unit	Paketová řídicí jednotka, GPRS
PDC	Personal Digital Celluar	Osobní digitální buňkový telefon, Japonsko
PDCCH	Packet Dedicated Control Channel	Dedikovaný řídicí paketový kanál, GPRS

PDC-P	Personal Digital Cellular-Packet	Osobní digitální buňkový telefon - paketový přenos
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy	Plesiochronní digitální hierarchie
PDCH	Packet Data Channel	Paketový datový kanál, GPRS
PDN	Packet Data Network	Paketová datová síť
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel	Fyzický sdílený downlink kanál, UMTS
PDTCH	Packet Data Traffic Channel	Paketový provozní datový kanál, GPRS
PCH	Paging Channel	Vyhledávací kanál, GSM, UMTS
PCH	Physical Channel	Fyzický kanál, GSM
PLMN	Public Land Mobile Network	Veřejná pozemní mobilní síť, GPRS
PNCH	Packet Notification Channel	Oznamovací paketový kanál, GPRS
PPCH	Packet Paging Channel	Vyhledávací paketový kanál, GPRS
PPP	Point-to-Point Protocol	Protokol spojení bod-bod
PRACH	Packet Random Access Channel	Paketový kanál náhodného přístupu, GPRS
PRACH	Physical Random Access Channel	Fyzický kanál s náhodným přístupem, UMTS
PS	Packet Scheduler	Prvek plánující vysílání paketů, UMTS
PSK	Phase-Shift Keying	Klíčování s fázovým posunem
PSTN	Public Switched Telephone Network	Veřejná Přepínaná Telefonní Síť
PTCCH	Packet Timing Advance Control Channel	Řídící kanál časového předstihu paketů, GPRS
PTM-SC	Point-To-Multipoint Service Centre	Servisní středisko služeb bod-více bodů, GPRS
PTT	Push To Talk	Stiskni a mluv, GSM
QoS	Quality of Service	Rezervace a řízení datových toků
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying	Kvadrurní klíčování s fázovým posunem
RACH	Random Access Channel	Kanál s náhodným přístupem, GSM, UMTS
RCC	Reverse Control Channels	Zpětné řídící kanály, AMPS
RFN	Reduced Frame Number	Zkrácené číslo rámce, GSM
RLC/MAC	Radio Link Control/Medium Access Control	Rádiová linková vrstva řízení přístupu k médiu, GSM
RLP	Radio Link Protocol	Linkový protokol rádiového prostředí, GSM
RM-OSI	Reference Model of Open System Interconnection	Referenční model propojení otevřených systémů
RN	Relay Node	Vykrývač signálu, LTE Advanced
RNC	Radio Network Controller	Kontrolní prvek rádiové části, UMTS
RNS	Radio Network Subsystem	Subsystem rádiové sítě, UMTS

RTTI	Reduced Transmission Time Interval	Redukovaný přenosový interval, E-EDGE
SACCH	Slow Associated Control Channel	Pomalý přidružený řídicí kanál, GSM
SAE	System Architecture Evolution	Vývoj systémové architektury, EPS
SAW	Stop And Wait	Zastav a čekej, HSDPA
SB	Synchronization Burst	Časový synchronizační burst, GSM
SCC	Seamless Cell Change	Bezešvá změna buňky, UMTS
S-CCPCH	Secondary Common Control Physical Channel	Sekundární společný řídicí fyzický kanál, UMTS
SC-FDMA	Single Carrier FDMA	FDMA s jednou nosnou, LTE
SDCCH	Stand-alone Dedicated Control Channel	Nezávislý dedikovaný řídicí kanál, GSM
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	Synchronní digitální hierarchie
SF	Stealing Flags	Signalizační značky druhu přenosu v normálním burstu, GSM
SF	Spreading Factor	Činitel rozptřeni, UMTS
SFN	System Frame Number	Systémové číslo rámce, UMTS
SGSN	Serving GPRS Support Node	Obslužný uzel, GPRS
SCH	Synchronization Channel	Synchronizační kanál, GSM
SID	System Identification Number	Systémové identifikační číslo, AMPS
SIP	Session Initiation Protocol	SIP, protokol k ustavení, udržování a ukončení datového spojení, primárně VOIP telefonie
SISO	Single-Input Single-Output	Technika jeden vstup, jeden výstup, GSM
SMS	Short Message Service	Služba krátkých textových zpráv
SMSC	Short Message Service Center	Středisko služby krátkých textových zpráv, GSM
SMSCB	Short Message Service Cell Broadcast	Služba krátkých zpráv - buňkové vysílání, GSM
SMS-GMSC	Short Message Service - Gateway Mobile Service Center	Bránu textových zpráv SMS, GSM
SRNC	Serving RNC	Obslužný řídicí uzel, UMTS
SS7	Signaling System #7	Signalizační systém č.7
SU-MIMO	Single User MIMO	Jednouživatelské MIMO, LTE Advanced
TA	Timing Advance	Časový předstih, GSM
TACS	Total Access Communication System	Komunikační systém s celkovým pokrytím, UK
TD-CDMA	Time Division CDMA	Časově dělené CDMA
TDM	Time-division multiplexing	Časově dělená multiplexace
TDMA	Time Division Multiple Access	Časově dělený mnohonásobný přístup
TF	Transportation Format	Přenosový formát, UMTS
TFI	Transport Format Indicator	Indikátor transportního formátu, UMTS

TCH	Traffic Channel	Provozní kanál
TCH/F	Traffic Channel full-rate	Provozní kanál s plnou rychlostí, GSM
TCH/H	Traffic Channel half-rate	Provozní kanál s poloviční rychlostí, GSM
TRFC	Transport Format and Resource Combination	Přenosový formát a rezervace zdrojů, HSDPA
UARFCN	UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number	Číslo označení konkrétního kanálu v síti UMTS
UE	User Equipment	Uživatelské vybavení - mobilní stanice, UMTS
UMB	Ultra Mobile Broadband	zrušený standard 4G vylepšující síť CDMA2000
UMTS	Universal Mobile Telephone System	Univerzální mobilní telefonní systém
UMTS-TDD	UMTS - Time Division Duplex	Síť UMTS - časově dělený duplex
U-RNTI	UTRAN Radio Network Temporary Identity	Dočasná identita v rádiové síti UTRAN, UMTS
USF	Uplink State Flag	Značka stavu směru uplink, GPRS
U-TDOA	Uplink Time Difference of Arrival	Rozdíl doby příchodu v odchozím směru, GSM
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network	UMTS Pozemní rádiová přístupová síť
VLR	Visitor Location Register	Návštěvnický lokační registr, GSM
VOLTE	Voice over LTE	Specifikace přenosu hlasu v LTE
WAP	Wireless Application Protocol	Bezdrátový protokol aplikační vrstvy, GSM
W-CDMA	Wideband CDMA	Širokopásmové CDMA
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access	Celosvětová součinnost pro mikrovlnný přístup

Abstrakt

Tato práce se zabývá historickým vývojem datových přenosů v mobilních sítích. Nastíněny jsou počátky komunikace přes rádiové rozhraní, postupný přechod analogových sítí k digitálním standardům a pokus o jejich sjednocení v rámci standardu ITU-T IMT-2000. Detailně je popsána síť UMTS, její architektura, metoda mnohonásobného přístupu, skladba kanálů v přístupové síti a z toho vyplývající možnosti použití. Dále jsou rozvedeny pokročilé paketové přenosy HSDPA a HSUPA, stejně jako jejich pozdější vylepšení v rámci standardu HSPA+. Poslední stránky jsou věnovány nastupující technologii LTE a možnostem jejího rozvoje směrem k vysokorychlostní síti 4. generace LTE-Advanced. Stručně je charakterizován také standard Mobile WiMAX.

Klíčová slova

Bezdrátová síť, mobilní komunikace, mobilní telefon, GSM, CSD, HSCSD, GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, HSUPA, HSPA+, LTE, LTE Advanced, Mobile WiMAX, kódování, modulace, rozprostřené spektrum, přístupová síť, mnohonásobný přístup, datové přenosy, výukový program, interaktivita.

Abstract

This work deals with historical evolution of data transmissions in mobile networks. Foreshadowed are origins of communication over radio interface, gradual movement from analog networks to digital standards plus attempt at their unification in the ITU-T standard IMT- 2000. In detail is described UMTS network, its architecture, multiple access method, channel composition in access network and resultant possibilities of usage. Further are described advanced packet transmission techniques HSDPA and HSUPA, as well as their later improvements in the HSPA+ standard. Last pages are devoted to ingoing technology LTE plus possibilities of its development towards highspeed network of the 4. generation LTE-Advanced. Mobile WiMAX standard is also shortly characterized.

Key words

Wireless network, mobile communication, cell phone, GSM, CSD, HSCSD, GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, HSUPA, HSPA+, LTE, LTE Advanced, Mobile WiMAX, encoding, modulation, spread spectrum, access network, multiple access, data transmissions, teaching program, interactivity.

Obsah

0	Úvod.....	1
1	Analogové sítě 1. generace	2
1.1	NMT.....	3
1.1.1	DMS	6
1.1.2	NMT Mobidigi	7
1.1.3	NMT dial-up.....	7
1.1.4	Testování přenosu dat v síti NMT.....	7
1.2	AMPS, TACS a další... ..	10
2	Digitální sítě 2. generace.....	12
2.1	Síť GSM.....	12
2.1.1	Architektura systému GSM.....	13
2.1.2	Parametry systému GSM.....	15
2.1.3	CSD	23
2.2	PDC	24
2.3	D-AMPS.....	24
3	Digitální sítě 2,5. generace.....	25
3.1	GSM.....	25
3.1.1	TCH/F14.4	26
3.1.2	HSCSD.....	26
3.1.3	GPRS.....	29
4	Digitální sítě 2,75. generace.....	38
4.1	EDGE	38
4.1.1	EGPRS	39
4.1.2	ECSD	41

4.2	EDGE Compact.....	41
5	Multimediální síť 3. generace	42
5.1	Síť UMTS.....	42
5.1.1	Architektura systému UMTS	43
5.1.2	Parametry systému UMTS	43
5.1.3	UMTS-FDD	45
5.1.4	UMTS-TDD	54
6	Multimediální síť 3,5. generace	55
6.1	HSDPA.....	55
6.1.1	Adaptivní modulace a kódování AMC.....	57
6.1.2	Hybridní automatický požadavek na opakování přenosu HARQ	58
6.1.3	Rychlé paketové plánování FPS.....	59
6.1.4	Bezešvá změna buňky SCC	59
6.1.5	Kódové schéma a dopady implementace HSDPA	59
6.2	HSUPA.....	61
6.3	Evolved EDGE.....	63
7	Multimediální síť 3,9. generace	65
7.1	HSPA+	65
7.2	LTE	66
8	Vysokorychlostní IP síť 4. generace	70
8.1	LTE Advanced	70
8.2	Mobile WiMAX.....	71
8.3	UMB.....	71
9	Datové přenosy v praxi - měření	72
9.1	Testování doby přenosu zpráv žádost-odpověď	72
9.2	Testování hodnoty hrubé přenosové rychlosti	73

10	Multimediální programy a e-learning	76
10.1	Multimediální program na téma datových přenosů.....	76
	Závěr	77
	Literatura.....	78
	Seznam příloh	81
	Příloha č. 1 – Detailní výsledky měření.....	I
	Příloha č. 2 – Ukázka z multimediálního výukového programu.....	IV

0 Úvod

Téma datových přenosů v mobilních sítích je velmi obsáhlé. Je to dáno dlouhým historickým vývojem v této oblasti, aplikací mnoha technik, prostředků a postupů. Technický pokrok, který proběhl za dobu používání mobilních sítí, přinesl další, dříve nepředpokládané, možnosti. Mobilní stanice uživatelů se díky pokroku v oblasti akubaterií, zobrazovacích a polohovacích prvků, staly z hlasových komunikačních přístrojů přístroji multimediálními, nepostradatelnými pomocníky ve všedních i nevšedních situacích.

Rozložíme-li si souhrnný pojem multimedia, pak dostaneme jednotlivé části, které jej tvoří, tedy především zvuk a obraz. Jde tedy o podněty působící na různé lidské smysly. Dnes by se zde dal zařadit i pohyb, který momentálně prochází největším rozvojem v souvislosti s aplikací pohybových senzorů v mobilních stanicích. Stojíme však na prahu, kdy jej v této pozici opět vystřídá obraz a to díky rychlému rozvoji tří dimenzionálních zobrazovacích prvků. Co však mají všechny tyto smyslové podněty společné? Pro svou funkci potřebují data. Data zadaná uživatelem, načtená z paměti přístroje, či přijatá rádiovým prostředím.

Tato práce si klade za cíl stručně a výstižně popsat historický vývoj v oblasti datových přenosů, zaměřena je právě především na oblast přístupových sítí, pracujících v rádiovém prostředí, kde dochází k největšímu rozvoji. V práci se snažím zacházet do maximální nutné technické hloubky tak, aby nebyla narušena návaznost probíraného tématu a případný čtenář se v textu orientoval. Od čtenáře se předpokládá základní znalost řešené problematiky. Je zde však vždy snaha o názorné popsání problematiky, namísto odkazování se na externí zdroje. Práce je strukturována dle jednotlivých generací mobilních sítí, či dnes obecně považovaných mezistupňů mezi nimi.

Výchozími zdroji této práce je dostupná literatura k tématu. Ta se zabývá buďto detailním popisem technických prostředků funkce sítí, nebo se snaží zprostředkovat zpětnou vazbu z praktické aplikace a uvádí metodiku řešení návrhu sítě, či nastiňuje současné a budoucí trendy a polemizuje nad klady a zápory jednotlivých řešení. V pozadí také nezůstává Internet jako nejaktuálnější zdroj informací o technických řešeních nebo marketingových rozhodnutích v oblasti mobilních komunikací.

Nedílnou součástí této práce je i multimediální výukový program. Ten se snaží stroze vypadající popisný text převést do názorné podoby. Více informací o tomto programu lze nalézt v kapitole 10.

1 Analogové sítě 1. generace

Ačkoliv název této kapitoly odkazuje již na analogové sítě označované souhrnně jako sítě 1. generace, rád bych zde ještě věnoval prostor sítím předcházejícím.

První komerčně spuštěná bezdrátová síť byla finská síť označená zkratkou ARP neboli Autoradiopuhelin, což v překladu znamená „autorádiotelefon“. Návrh této sítě pochází z roku 1968, přičemž výstavba začala v roce 1969. Službu zařazujeme mezi sítě nulté generace (0G), neboť ačkoliv se jedná o buňkovou síť, není zde možnost bezešvého handoveru mezi jednotlivými buňkami. Jedná se tedy spíše o jakousi síť separátních vysílačů/přijímačů, se kterými lze navázat spojení, je-li uživatel v jejich dosahu. Síť byla spuštěna v roce 1971 a dosáhla 100% geografického pokrytí v roce 1978 se 140 funkčními základnovými stanicemi.

Síť ARP pracovala na frekvencích okolo kmitočtu 150 MHz, podrobné parametry sítě byly:

- 80 kanálů o šířce cca 87 kHz,
- ve frekvenčním rozsahu 147.9 - 154.875 MHz,
- vysílací výkon se pohyboval v rozsahu 1 až 5 W,
- přenos probíhal poloduplexně, později duplexně,
- síť byla analogová, hovor nebyl kódován digitálně, byl pouze namodulován na vyšší přenosovou frekvenci,
- hovory nebyly zabezpečeny, nebylo použito kódování, mohly být odposlouchávány libovolným přijímačem naladěným na vhodnou frekvenci,
- velikost buňky byla přibližně 30 km,
- a jak již bylo zmíněno výše v textu, při přechodu z jedné buňky do druhé došlo k přerušování hovoru a bylo nutné jej znovu navázat.

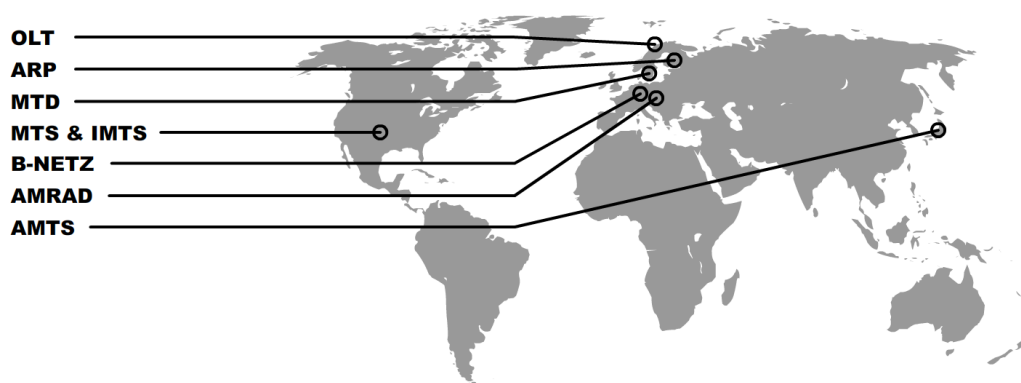
Provoz této sítě lze pokládat za úspěšný, počet uživatelů dosáhl v roce 1986 čísla 35 000. Toto se však nakonec projevilo v kvalitě poskytovaných služeb, síť byla mnohdy přetížená. Zůstala ovšem po dlouhou dobu jednou z mála sítí se 100% pokrytím a byla využívána zvláště v odlehlých oblastech. Síť ARP byla vypnuta na konci roku 2000.

O datových přenosech nelze v prvopočátcích této sítě ani uvažovat, protože první uživatelské stanice byly rozměrné, zabírající téměř polovinu nákladového prostoru osobního vozu a postrádaly jakékoliv obrazové rozhraní. V pozdějších fázích se sice objevily kompaktnější přenosné přístroje vybavené displejem, ovšem žádná z datových služeb nebyla implementována.

Obdobně jako ve Finsku vznikaly podobné analogové sítě i v ostatních zemích viz obr. 1, jmenovitě:

- německá síť B-Netz (1972-1994) pracující na frekvenci 150 MHz,

- americký systém MTS (Mobile Telephone System, 1946-1980) na frekvencích zprvu 35 MHz, poté 150 a 455 MHz,
- IMTS (Improved Mobile Telephone Service), rozšíření standardu MTS,
- japonský AMTS (Advanced Mobile Telephone System, 1979), 900 MHz,
- český AMRAD (Automatizovaný Městský RADiotelefon, 1983), cca 160 MHz,
- norský OLT (Offentlig Landmobil Telefoni, Veřejná pozemní mobilní telefonie, 1966), 160 MHz,
- a švédský MTD (Mobiltelefonisystem D, 1971), 450 MHz, později byla tato síť spuštěna také v Norsku a Dánsku a umožňovala mezinárodní roaming.



Obr. 1: Analogové sítě nulté generace.

1.1 NMT

S rozvojem sítí nulté generace začínalo být jasné, že podmínky, na jejichž základech byly položeny standardy pro tyto sítě, se rapidně změnily a že je nutné vytvořit standardy sítí nových, do nichž se projeví z jedné strany požadavky trhu a samozřejmě technické možnosti ze strany druhé.

Jednou z těchto sítí se měla stát síť NMT (Nordisk MobilTelefoni, Nordic Mobile Telephony). Její specifikace byla započata v roce 1970 telekomunikačními úřady severovýchodních zemí. Síť NMT byla zamýšlena jako náhrada skandinávských sítí ARP a MTD (viz kap.1). Technické specifikace byly hotovy roku 1973 a návrh základnových stanic roku 1977. První hovor proběhl v Tampere, Finsko, roku 1978. Síť byla spuštěna roku 1981 ve Švédsku a Norsku a v roce 1982 také ve Finsku a Dánsku. Roku 1991 i v tehdejší ČSFR.

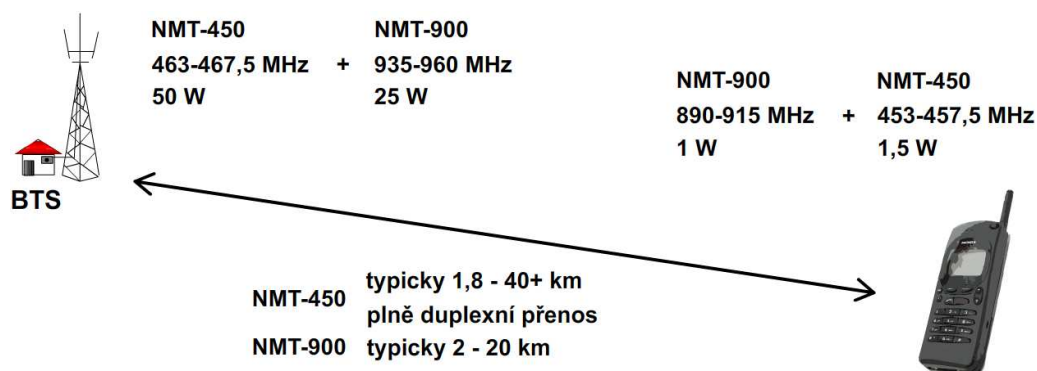
Prvotní uživatelské terminály byly obdobné těm používaným v síti ARP, montovány byly do kufrů aut s ovládacími prvky poblíž sedadla řidiče, z roku 1982 lze jmenovat např. Mobira Senator (9,8 kg) – autotelefon firem Nokia a Salora. Existovaly i různé přenosné verze jako Mobira Talkman (5 kg), ovšem až v roce 1987 Nokia vydala první „ruční“ přístroj Mobira Cityman 900 (800 g, cena 4,500 €).

Síť byla prvotně specifikována pro použití v okolí kmitočtu 450 MHz – od toho pozdější název NMT-450, se základními parametry:

- vysílací pásma: 463-467,5 MHz k uživateli; 453-457,5 MHz od uživatele,
- 180 kanálů o šířce 25 kHz,
- metoda mnohonásobného přístupu FDMA (Frequency Division Multiple Access),
- vysílací výkon základnové stanice BTS (Base transceiver station) byl až 50 W, u automobilové stanice typicky 15 W a pro uživatelskou stanici 1,5 W,
- duplexní přenos,
- síť byla analogová, hovor nebyl kódován digitálně, byla použita FM (Frequency Modulation) modulace na vyšší přenosovou frekvenci,
- hovory, podobně jako v síti ARP, nebyly zabezpečeny, nebylo použito kódování, mohly být odposlouchávány libovolným přijímačem FM naladěným na vhodnou frekvenci. Od roku 1999 však bylo možné použít skrambling, pokud jej základnová i uživatelská stanice podporovaly a dohodly se na jeho použití při sestavení hovoru,
- signalizace je modulována MSK (Minimum Shift Keying) modulací a přenosová rychlost signalizace je 1200 bit.s^{-1} ,
- velikost buňky byla od 1,8 do 40 km,
- handover je „měkký“, čas handoveru – 1 sekunda.

V roce 1986 byla uvedena specifikace NMT-900, jejíž hlavním přínosem bylo znásobení počtu dostupných kanálů, tedy zkapacitnění sítě. V parametrech sítě došlo k těmto změnám:

- vysílací pásma byla rozšířena na frekvence: 935-960 MHz k uživateli; 890-915 MHz od uživatele, vzdálenost hovorových kanálů uplink downlink se tedy změnila z 10 na 45 MHz,
- počet dostupných kanálů byl navýšen o 1000 kanálů o zachované šířce 25 kHz,
- vysílací výkon základnové stanice se snížil na max. 25 W, u automobilové stanice na 6 W a u uživatelské stanice na 1 W,
- velikost buňky se změnila na 2 až 20 km,
- čas handoveru se snížil na 0,3 sekundy.



Obr. 2: Vybrané parametry systémů NMT-450 a NMT-900.

Typické uspořádání sítě NMT vypadá tak, že každá ze základnových stanic má samostatný stránkovací (paging) kanál, jeden přístupový (access) kanál (v NMT-900), jeden datový kanál a omezený počet provozních kanálů.

Stránkovací kanál je užíván základnovou stanicí pro přenos nepřetržitého identifikačního signálu. Mobilní stanice nacházející se v dané přenosové oblasti a setrvávající v nečinném režimu jsou připojeny ke stránkovacímu kanálu a čekají na přesměrování požadavku hovoru. Po přijetí požadavku k hovoru je stanici přiřazen provozní kanál a na něm probíhá zbývající část procesu sestavení hovoru.

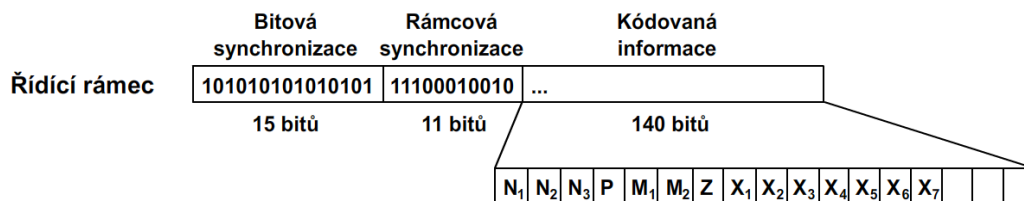
Provozní kanály tedy slouží přenosu hovorů a k přenosu části dat procesu sestavení hovoru. Mohou se nacházet ve třech různých stavech označených příslušným příznakem:

- volný stav (free state) – mobilní stanice může kanál použít k zaslání požadavku na sestavení hovoru základnové stanici,
- obsazený stav (busy state) – kanálem právě probíhá hovor,
- nečinný stav (idle state) – kanál není ani v jednom z předchozích dvou stavů.

Všechny řídicí informace jsou přenášeny přímo provozním kanálem za pomoci MSK modulace a to přenosovou rychlostí 1200 bit.s^{-1} . Během přenosu řídicích informací je přerušen přenos řeči, což zaregistruje volaný i volající a celkově se snižuje kvalita přenosu. Řídicí informace jsou bloky sestávající z 16 hexadecimálních znaků, jsou tedy 64 bitové. K zajištění spolehlivého přenosu je aplikován Hagelbergerův opravný kód. Tento kód je navržen k opravě shlukových chyb o délce maximálně 6 bitů. Následné chybné shluky dat musí být proloženy s bezchybnými sekvencemi, které jsou alespoň 20 bitů dlouhé. Použitý kód zajišťuje opravu většiny chyb vzniklých úniky při běžné rychlosti mobilní stanice.

Řídicí rámec sestává ze 166 bitů (viz obr. 3) a je rozdělen do bloků:

- 15 synchronizačních bitů (10101 01010 10101),
- 11 synchronizačních bitů (1110010010),
- 140 bitů obsahujících řídicí data a paritní bity Hagelbergerova kódu.



Obr. 3: Signalizační rámec systému NMT.

Kódované informační bity na obrázku 3 obsahují:

- tří ciferné číslo kanálu (N_1, N_2, N_3),
- znak předčíslí (P),
- dvě čísla oblasti (M_1 a M_2),
- sedmiciferné číslo účastníka (X_1 - X_7),
- a tři znaky uživatelské informace.

Proces sestavení hovoru je pak blíže rozveden zde [1].

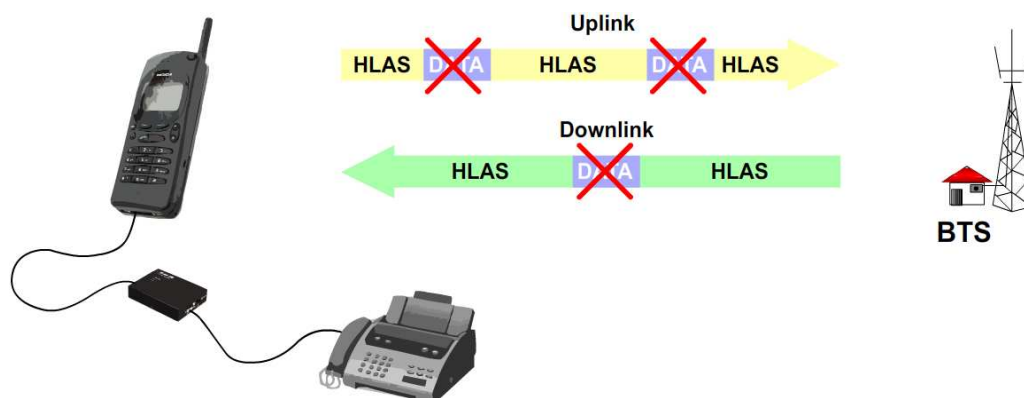
Služby nabízené v síti NMT jsou podobné službám v typické pevné telefonní síti. Kromě hlasového spojení je nabízeno např. zkrácené vytáčení, okamžité přesměrování hovorů, přesměrování hovorů při obsazené či neodpovídající lince, sledování zlomyslných volání. Jsou ovšem nabízeny i služby specifické pro mobilní systém a to:

- DMS (Data Mobile Station) – datové a faxové přenosy s nízkou přenosovou rychlostí do 600 bit.s^{-1} ,
- CBMS (Coin Box Mobile Station) – služba pro mincovní mobilní terminály,
- upřednostňované hovory,
- DMTF (Dual Tone Multiple Frequency) – dvoutónová frekvenční dovolba pro zadání určeného příkazu,
- a pak také služby umožněné mobilní stanicí (vytáčení stiskem tlačítka, telefonní seznam v přístroji, opětovné vytočení posledního čísla (tzv. redial), atd.).

1.1.1 DMS

Jak již bylo zmíněno v celkovém výčtu služeb, služba DMS umožňuje datové a faxové přenosy s nízkou přenosovou rychlostí do 600 bit.s^{-1} . Pro datový přenos je ovšem nutné pozměnit zavedené principy probíhající při běžném hovoru. Řídící informace, přenášené v datovém kanálu během krátkých přerušení hlasového signálu, by narušovaly probíhající datovou komunikaci. Pro její uskutečnění je tedy nutné vypnout signalizaci řízení vysílacího výkonu a handoveru. Služba datového přenosu je iniciována a ukončována uživatelem a

vyžaduje speciální zařízení – mezičlánek – mezi datový či faxový terminál a mobilní stanici poskytující modemové rozhraní viz obrázek 4.



Obr. 4: Schéma faxového přenosu v přístupové síti NMT.

Služba DMS byla využívána službou NMT-Text umožňující odesílání a přijímání textových zpráv mezi dvěma NMT uživatelskými terminály. Tato služba však byla komerčně spuštěna pouze v NMT sítích Ruska, Polska a Bulharska.

1.1.2 NMT Mobidigi

Tato nativně finská služba umožňuje přenos dat za pomoci paketů. Přenos těchto paketů je zpětně potvrzován. Použitý přenosový protokol obsahuje algoritmus korekce chyb a umožňuje handover jednotlivých NMT kanálů. Spojení může probíhat dávkově, je dovoleno přerušování přenosu dat. Rychlost přenosu službou NMT Mobidigi dosahuje 380 bit.s^{-1} . Soudobými zákazníky tohoto systému byly lesnické a přepravní společnosti. [2]

1.1.3 NMT dial-up

Síť NMT může být použita jako fyzická vrstva pro dial-up PSTN (Public Switched Telephone Network) modemy, typicky V.32bis umožňující obousměrnou komunikaci teoretickou rychlostí $14\,400 \text{ bit.s}^{-1}$, v praxi se však dosahuje rychlostí spíše na úrovni $2\,400 - 4\,800 \text{ bit.s}^{-1}$ a při přechodu mezi základnovými stanicemi mohou vznikat chyby v přenosu či jiné problémy.

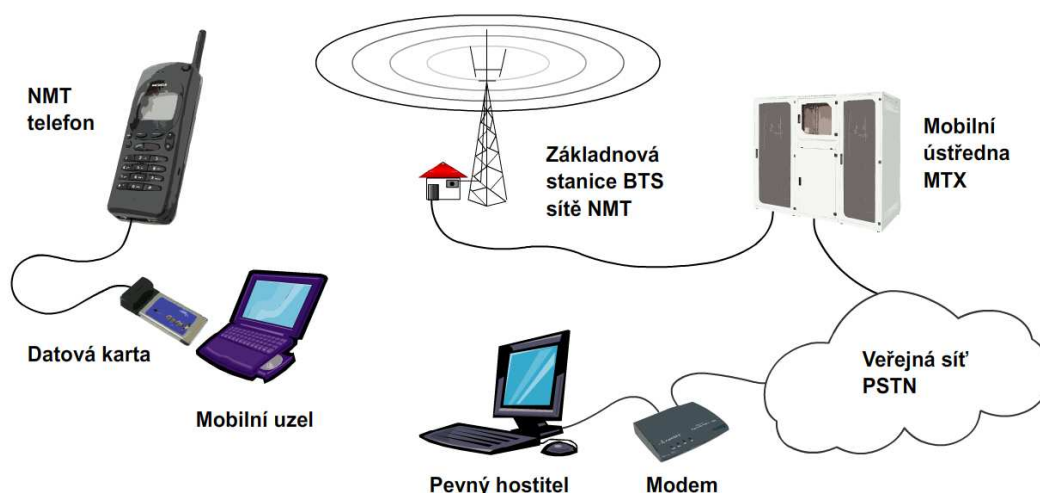
1.1.4 Testování přenosu dat v síti NMT

V dnešní době jsou již podmínky pro testování datových přenosů velmi ztížené, v textu proto dále vycházím z, po technické stránce velmi profesionálních, testů provedených na Univerzitě v Helsinkách, katedře Informatiky v listopadu 1994. Cílem těchto měření bylo simulovat „běžné“ podmínky použití a zároveň provést 3 druhy měření s vypovídající hodnotou pro tvorbu a použití software na aplikační vrstvě modelu RM-OSI (Reference Model of Open System Interconnection). Jednalo se o měření:

- doby sestavení vytáčeného spojení (dial-up),
- doby přenosu zpráv žádost-odpověď (request-reply),

- hodnoty hrubé přenosové rychlosti.

Trasa testovaného spojení vypadala dle obrázku 5:



Obr. 5: Testovaná komunikační trasa v prostředí sítě NMT.

Jedná se o klasické spojení klient-server, pouze s tím rozdílem, že v části trasy je použita mobilní komunikační síť. Mobilní uzel je klasický notebook PC. Mobilní uzel je vybaven modemem v podobě PCMCIA karty Nokia PC Card Modem (DTP-3NA) s parametry V.32bis a V.42bis a je spojen s uživatelskou stanicí NMT v podobě mobilního telefonu Nokia 121. Trasa dále využívá rádiových vln na frekvenci sítě NMT. Tyto vlny jsou přijímány základnovou stanicí, zpracovány a data dále předány do mobilní ústředny MTX (Mobile Transmission Exchange). Zde jsou data přepojena do sítě optických a metalických tras PSTN a přivedeny až k modemu pevného hostitele, kterým je typické stolní PC, v tomto případě vybavené modemem AT&T Paradyne (COMPSHERE 3810) splňujícím rovněž normy V.32bis a V.42bis.

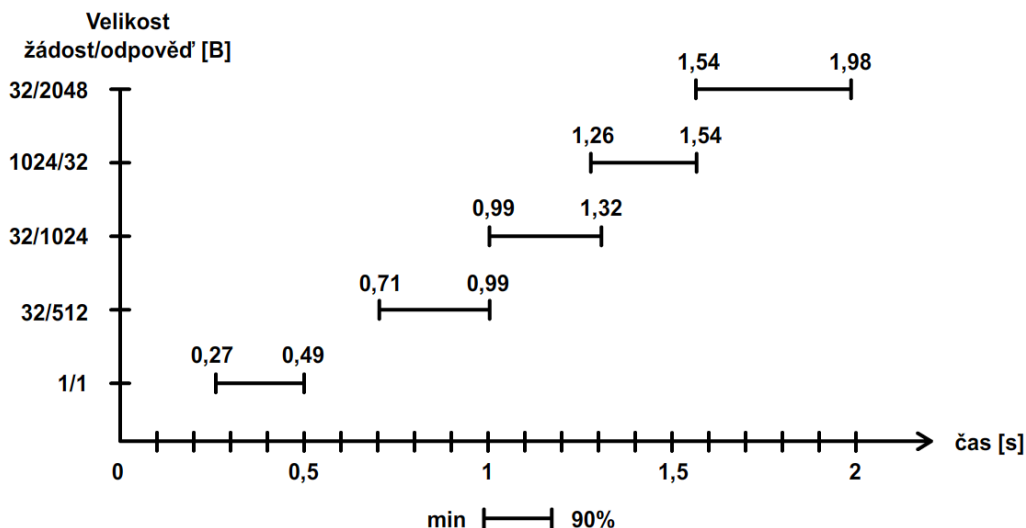
Parametry nastavení přenosu byly následující:

- přenosová rychlost $4800-7200 \text{ bit.s}^{-1}$,
- velikost rámce 16 oktetů (LAPM - Link Access Procedure for Modems),
- komprese, kontrola a korekce chyb V.42bis.

Během nastavování parametrů měření bylo zjištěno, že nejlepších výsledků se dosahuje s nastavením modemů do rychlosti 7200 bit.s^{-1} a zapnutou korekcí chyb dle V.42bis. za těchto podmínek zůstávala chybovost na přijatelné hranici. Cílem simulace byly zmíněné běžné podmínky, síla signálu se pohybovala mezi 3 a 4 na stupnici od 0 do 5.

První měření – doby sestavení vytáčeného spojení – bylo opakováno 400 krát, doba sestavení spojení trvala typicky 31 až 35 s. Malý počet sestavení (pod 1 % případů) trval déle než 35 s, kdy bylo zpoždění identifikováno při handshake modemů. V 10 případech se spojení nezdařilo, z čehož vychází pravděpodobnost chyby asi 2-3 %, tato pravděpodobnost se však může rapidně změnit při zhoršení podmínek bezdrátového přenosu.

Druhé měření – doby přenosu zpráv žádost-odpověď – bylo opakováno vždy 500 krát s různým nastavením velikostí odesílaných a přijímaných zpráv. Výsledky lze vidět graficky na obrázku 6.



Obr. 6: Graf testu doby přenosu zpráv žádost-odpověď.

Třetí měření – hodnoty hrubé přenosové rychlosti – bylo opakováno vždy 10 krát směrem od pevného hostitele k mobilnímu uzlu a 10 krát směrem opačným. Přenášená data byla o velikosti 2 200 000 bajtů, tj. cca 2,1 MB. Přenos probíhal opakovaně za různých podmínek. V ideálních podmínkách tj. kvalita signálu 5 z 5, za dobrých podmínek 3 až 4 z 5 a za špatných tj. 1 až 2 z 5. Výsledky těchto měření se nacházejí v tabulce 1.

	Podmínky prostředí		
	ideální	dobré	špatné
Přenosová rychlost [bit.s ⁻¹]	1200	870	300

Tab. 1: Výsledky měření hodnoty hrubé přenosové rychlosti.

Z výsledků vyplývá, že za ideálních podmínek se lze dostat téměř na 100 % teoretické propustnosti bezdrátové trasy, za dobrých na 70-95 %, ovšem za špatných podmínek propustnost klesne na 10-30 %.

Z výsledků měření hovoří samotná nominální data, polemizovat se v dnešní době dá snad jen o době odezvy, která je omezující pro komunikaci téměř nezávisle na množství přenášených dat (nezpožďuje-li se hrubý přenos dat pozdě přicházejícími zpětnými potvrzeními o přijetí paketů). Co ovšem lze ještě poznamenat a co z měření nevyplývá je důležitost algoritmů opravy chyb při přenosech v síti NMT. Bez mechanismů kontroly a korekce chyb naroste odezva z několika sekund na téměř jednotky minut. Více o těchto měřeních lze nalézt v [3].

Síť NMT nyní funguje již pouze v Rusku, na Islandu a v Polsku, kde mobilní operátor PTK Centertel (Orange Poland) plánuje vypnutí sítě do května 2010.

1.2 AMPS, TACS a další...

Další z analogových sítí první generace je americká síť AMPS (Advanced Mobile Phone System), vyvíjená v 70. letech 19. století a poprvé použita v Chicagu v roce 1983. Postupem času se dále rozšířila v USA, Kanadě, Mexiku, Jižní Americe, Austrálii a v Izraeli.

Síť AMPS bylo přiděleno 40 MHz spektrum v okolí kmitočtu 800 MHz, to bylo později rozšířeno o dalších 10 MHz. Základní parametry jsou tedy:

- vysílací pásma: 869-894 MHz k uživateli; 824-849 MHz od uživatele,
- 832 kanálů o šířce 30 kHz,
- metoda mnohonásobného přístupu FDMA,
- vysílací výkon základnové stanice byl až 100 W, u mobilní stanice typicky 3 W.

Kanály jsou rozděleny do čtyř kategorií dle použití. Principiální odlišností od systému NMT jsou vyčleněné kanály typu FCC (Forward Control Channels). Zpravidla je každé základnové stanici přidělen jeden z těchto 30 kHz kanálů. Základnová stanice na něm trvale vysílá digitální FSK (Frequency-shift keying) modulovaný signál s přenosovou rychlostí 10 kbit.s^{-1} . Ten obsahuje systémové informace jako číslo SID (System Identification Number) specifické pro každého operátora, informace o řízení výkonu, roamingu a handoveru.

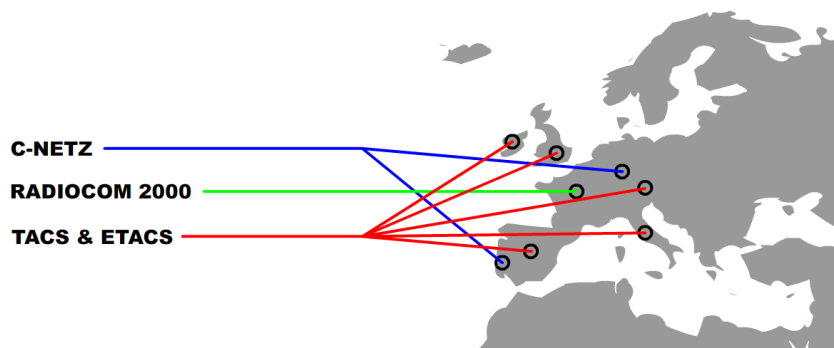
Trvalý přenos na tomto kanálu je organizován do bloků o 463 bitech. Většina bitů je využita pro přenos informací k mobilním stanicím, ale zbývá zde 42 bitů, kdy po každých 10 bitech přenášené zprávy je vložen jeden z těchto zbývajících bitů a označuje stav dalšího z kanálů tzv. RCC (Reverse Control Channels). Tímto se předchází vzniku kolizí na kanálech RCC. Jeden z těchto kanálů je také zpravidla přidělen základnové stanici a slouží k přenosu signalizační informace ve zpětném směru tedy ve směru od mobilní k základnové stanici.

Data posílaná v kanálu typu RCC mají podobu paketů. Díky paketové podobě posílaných dat je zde delší doba synchronizace. Je tedy nutno použít více úvodních bitů. Celkově má paket až 432 bitů. Jeho součástí je také určitá forma zabezpečení tzv. DCC (Digital Color Code) v podobě 7 bitů následujících signalizační bity. Dále následuje vyslání kódovaných slov. Ty dekóduje základnová stanice a přijme zprávu v nich obsaženou, to v případě, že jsou slova přijata bez chyb, jinak následuje retransmise.

Obdobně jako u NMT i zde lze použít okruhově orientované datové sítě, zde nazvané jako tzv. CSC (Circuit-switched cellular). Pomocí vhodných modemů, lze dosáhnout rychlostí od 2,4 do $14,4 \text{ kbit.s}^{-1}$. Propustnost je ovlivněna rušením, šumem, úniky, obecným poklesem kvality kanálu a liší se podle místa. Časté jsou také výpadky spojení s následkem ukončení hovoru. Výhodou je ovšem dostupnost – kdekoli lze volat, lze i posílat data a účtování je také jednoduché, platí se dle času spojení. [4].

Sítě AMPS jsou stále v provozu v USA a Kanadě, na ostatních místech byly buď vypnuty, nebo nahrazeny digitálními sítěmi druhé generace.

Výrazem TACS (Total Access Communication System) či ETACS, viz obrázek 7, jsou označeny evropské varianty systému AMPS používané v několika evropských zemích jako Rakousko, Irsko, Itálie, Španělsko a Velká Británie.



Obr. 7: Vybrané evropské mobilní sítě 1G

V Německu došlo k nahrazení analogové sítě B-Netz jiným standardem, tzv. C-Netz (Funktelefonnetz-C) a tato síť dosáhla maxima na začátku 90. let s počtem zákazníků okolo 800 000, vypnuta byla k 31.12.2000. Uplatnění našla rovněž v Portugalsku. Ve Francii byla v pásmu okolo frekvence 400 MHz v provozu síť RadioCom 2000 společně se sítí NMT-F (Nordic Mobile Telephone "Français").

Analogové sítě první generace byly ve většině případů vypnuty, aby došlo k uvolnění rádiových pásem pro sítě dalších generací. V některých oblastech jsou však stále v provozu.

2 Digitální síť 2. generace

Zatímco nultá generace mobilních sítí ověřila funkčnost a použitelnost celého konceptu mobilních sítí, tak první generace přinesla ve vyspělých zemích množství zákazníků a protože se jednalo o technologii drahou, tak se zákazníci zprvu rekrutovali ze skupiny bohatých občanů, ze špičky sociální pyramidy obyvatelstva. Se zlevněním mobilních stanic se technologie postupně stávala dostupnou i pro nižší sociální vrstvy. U občanů vyšších vrstev je běžné, že se ve svém podnikání nebo zaměstnání pohybují v zahraničí a přicházejí do styku s důvěrnými či dokonce utajovanými informacemi. Při používání analogové mobilní sítě ovšem narazí na problém. Mobilní stanici, kterou si zakoupili v dané zemi, nelze (až na výjimky) použít v zemi jiné a navíc, pokud hovoří, pak lze jejich hovor běžně odposlouchávat cenově dostupným zařízením.

Sítě druhé generace se proto zaměřily hlavně na vyřešení těchto problémů. Jejich standardy se měly stát jednotným standardem vždy minimálně na jednotlivých kontinentech. Sítě využívaly také posledního pokroku v komunikacích - digitalizace. Ta dopomohla k vytvoření takových bezpečnostních algoritmů, které bylo nemožné dekodovat s tehdejšími technologiemi v reálném čase, dostupná odposlouchávací zařízení byla pouze ve finančních možnostech vlád jednotlivých států. Digitalizace také pomohla nabídce služeb na bázi přenosu dat, neboť přenosový kanál již nebyl poskytnut pouze jako rádiové médium, tedy fyzická vrstva. Přínosem digitalizace bylo také aplikování hlasových kodeků s nízkou přenosovou rychlostí, jako je např. AMR (Adaptive Multi-Rate audio codec) a tím znásobení kapacity sítě. K větší přehlednosti a kvalitě přenosu přispělo také úplné oddělení kanálů signalizace a kanálů určených pro přenos hlasu a dat.

2.1 Síť GSM

V Evropě bylo sjednocení požadavků trhu a telekomunikačních společností svěřeno evropskému telekomunikačnímu úřadu CEPT (Conference Europeenne des Postes et Telecommunications). Ten dal vzniknout skupině GSM (Groupe Spécial Mobile), jejíž úkolem bylo vyvinout digitální komunikační radiosystém na frekvenci 900 MHz. Vznikl mobilní systém pojmenovaný dle této skupiny – GSM (používající zprvu původní sousloví, které bylo poté změněno na Global System for Mobile communications). První evropská GSM síť byla spuštěna ve Finsku v roce 1991. O další rozvoj systému se pak dále staral evropský standardizační institut ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

Ve fázi jedna byly standardizovány základní prvky a služby a to s takovou rychlostí, aby nebyl ztracen technologický náskok vůči analogovým sítím při operačním nasazení systému GSM. Hlavní prvky byly specifikovány takto:

- základní telefonní hlasová služba,
- tísňová volání,
- datové přenosy 300 až 9600 bit.s⁻¹,

- šifrování a autentifikace,
- přesměrování a odmítnutí hovoru,
- krátké textové zprávy SMS (short message system),
- frekvenční přeskoky,
- řízení výkonu a
- přerušované přenosy.

Po specifikování těchto parametrů začala sériová výroba technických prvků sítě a fyzická výstavba prvních bezdrátových sítí GSM. Vývoj sítě ovšem pokračoval a v další fázi, která byla uzavřena říjnu roku 1995, byla síť doplněna o:

- mechanismus vypořádávající se s vzájemným ovlivňováním rádiových vln jednotlivých přenosů a vypořádávání se chybami při přenosu, aby mohlo dojít k dalšímu vývoji specifikace,
- dále nové služby jako identifikace linky, např. zamezení identifikace volajícího, tzv. CLIP (Calling Line Identification Presentation), či opačně, zamezení přenosu vlastní informace o lince, tzv. CLIR (Calling Line Identification Restriction),
- čekání hovoru a podržení hovoru,
- informace volajícímu o zpoplatnění hovoru při jeho sestavování,
- konferenční hovory,
- hlasový kodek s přenosovou rychlostí rovné polovině přenosové rychlosti kanálu,
- podporu Faxu skupiny 3, dle ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunications standardization sector) doporučení T.30 a T.4.

2.1.1 Architektura systému GSM

Síťová architektura systému GSM se skládá z několika subsystémů, viz obrázek 8. Jedním z nich je subsystém základnových stanic BSS (Base Station Subsystem). Ten sestává ze základnových stanic BTS (Base Transceiver Station) a jejich kontroléru BSC (Base Station Controller). Subsystém BSS poskytuje a spravuje přenosové cesty mezi mobilními stanicemi a síťovým subsystémem NSS (Network Switching Subsystem).

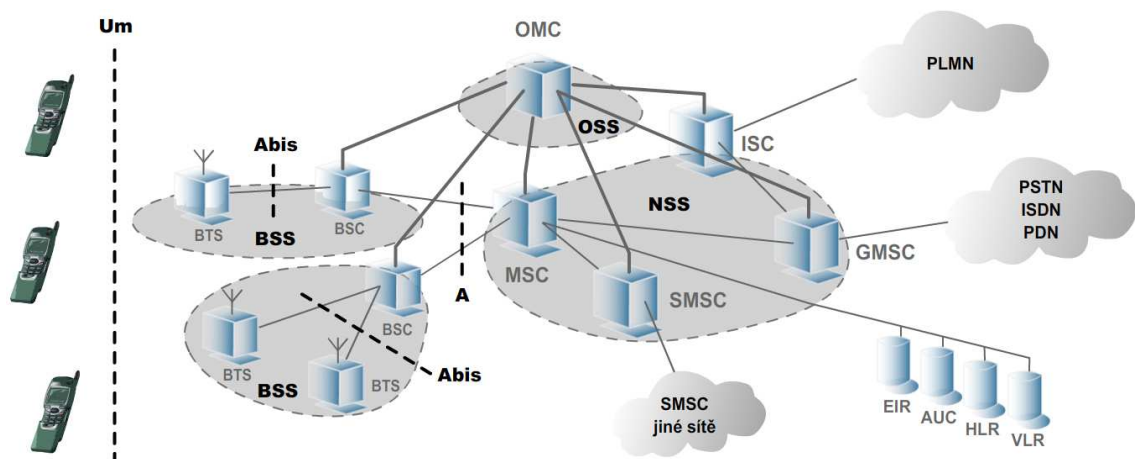
Subsystém NSS je mozkem celé GSM sítě a sestává z mobilní ústředny MSC (Mobile Switching Centre) a čtyř inteligentních uzlů. Jedná se o domácí lokační registr HLR (Home Location Register), dále návštěvnický registr VLR (Visitor Location Register), ten bývá často sdružen s mobilní ústřednou MSC, registr mobilních stanic EIR (Equipment Identity Register) a autentizační centrum AuC (Authentication Center). Je zde také podpůrný uzel SMSC (Short Message Service Center) služby SMS (Short Message Service).

O dohled nad těmito systémy se stará samostatný subsystém OSS (Operation Support Subsystem), který se skládá z obslužného uzlu provozu a údržby OMC (Operation and Maintenance Center). Tento uzel se používá pro vzdálené centralizované řízení provozu a procesy údržby. Subsystém je většinou řešen proprietárním software výrobců technologie použité v subsystémech BSS a NSS, nemá tedy pevně dané standardy, ač v některých případech používá signalizaci SS7 (Signaling System #7).

V každém ze subsystémů sítě GSM jsou mezi jednotlivými bloky a uzly definována rozhraní. Pro datové přenosy jsou nejvíce svazující a omezující rozhraní v subsystému BBS. Jedná se o tato rozhraní:

- Um – což je rádiové rozhraní mezi mobilní a základnovou stanicí. Je na něm dosahována max. hrubá přenosová rychlost jednoho kanálu $22,7 \text{ kbit.s}^{-1}$. Toto rozhraní používá k signalizaci protokol LAPDm (Link Access Protocol on the Dm Channel), za pomoci kterého se provádí řízení hovoru, oznámení o výsledcích měření kvality signálu mobilní stanicí, handover, řízení síly vysílacího výkonu, autentizace a autorizace účastníků apod.
- Abis – což je rozhraní mezi základnovou stanicí BTS a řídicím uzlem BSC. Většinou je provedeno spojem typu DS-1(T1) nebo E1 okruhově orientovaném a časově děleném multiplexu TDM (Time-division multiplexing) po optickém, metalickém nebo rádiovém (mikrovlnném) médiu. Jsou zde použity TDM subkanály pro přenos provozních kanálů TCH (Traffic Channel), signalizace LAPD pro dohled nad základnovými stanicemi, přenášená je také synchronizační informace sítě. Přenosová rychlost jednoho časového kanálu je 64 kbit.s^{-1} , tedy celková rychlost jednoho spoje včetně řízení je 2048 kbit.s^{-1} . Počet spojů E1 je většinou od čtyř až po 32.
- A – což je rozhraní mezi řídicím uzlem BSC a mobilní ústřednou MSC. To je použito pro přenos dat ze subsystému BSS do subsystému NSS a většinou realizováno optickými spoji typu PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) nebo SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Spoj používá transkódovací jednotky, ale pouze pro úpravu hlasových nebo datových okruhově orientovaných provozních kanálů, signalizace SS7 mezi BSC a MSC zůstává bez úprav.

Rozhraní v subsystému NSS jsou v konkrétních opodstatněných případech zmíněna v následujících kapitolách této práce, celkový přehled lze najít zde [5].



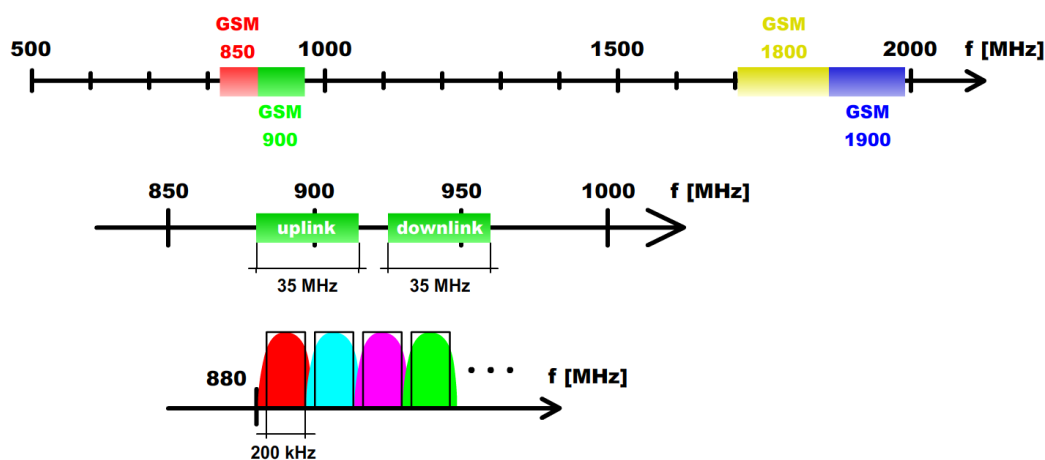
Obr. 8: Architektura systému GSM.

2.1.2 Parametry systému GSM

Co se týče technických parametrů sítě GSM, tak síť byla prvotně určena pro provoz v okolí kmitočtu 900 MHz s konkrétními parametry:

- dvě vysílací pásma o šířce 25 MHz na frekvenci 890-915 MHz k uživateli a 935-960 MHz od uživatele, pozdější standard E-GSM (Extended GSM) tyto pásma rozšiřuje o 10 MHz na 880-915 MHz a 925-960 MHz,
- 124 kanálů (174 kanálů v E-GSM) o šířce 200 kHz,
- metoda mnohonásobného přístupu TDMA (Time Division Multiple Access) / FDMA (Frequency Division Multiple Access), více viz [6],
- vysílací výkon základnové stanice BTS až 50 W a uživatelské stanice max. 2 W,
- síť je plně digitální, duplexní, používá GMSK (Gaussian Minimum-Shift Keying) modulaci, která omezuje přenášený výkon v postraních pásmech a tím snižuje interferenci mezi účastníky, [7]
- síť byla navržena jako středně bezpečná, při přihlášení do sítě je účastník autentifikován, používá se princip „challenge-response“ neboli výzva-odpověď a následná komunikace je šifrována šiframi A5/1 nebo A5/2,
- velikost buňky od cca 50 m do 35 km,
- handover je řízený za spoluúčasti mobilní stanice, tzv. MAHO (Mobile Assisted HandOver), čas handoveru nelze jednoznačně určit, protože může dojít k několika modelovým situacím, v závislosti na tom, zdali procedura probíhá v rámci jedné základnové stanice BTS, jednoho uzlu BSC (Base Station Controller), či jedné mobilní ústředny MSC (Mobile Switching Centre).

Síť GSM používá modulaci GMSK se symbolovou rychlostí $270,833 \text{ kbit.s}^{-1}$ a rozestupem kanálů 200 kHz (FDMA). Protože se sousední kanály překrývají, viz obrázek 9, tak standard nedovoluje použití sousedících kanálů ve stejné buňce. Standard obecně definuje několik přenosových pásem od 400 MHz až po 1990 MHz (většina pásem byla dodefinována v pozdějších standardech spadajících do generace 2,5 G). Odstup kanálů vždy zůstává na hodnotě 200 kHz a rozestup kanálu příchozího a odchozího směru (downlink/uplink) je 45 až 95 MHz. Pár těchto kanálů je identifikován tzv. číslem ARFCN (Absolute Radio Frequency Channel Number). V buňce je místně přiděleným kanálům s různým ARFCN přiděleno doplňkové označení nosné, tzv. carrier index, C0..Cn-1, kde C0 je určen jako řídicí kanál a je vždy provozován s konstantním vysílacím výkonem. Příklad tvorby viz obr. 10.

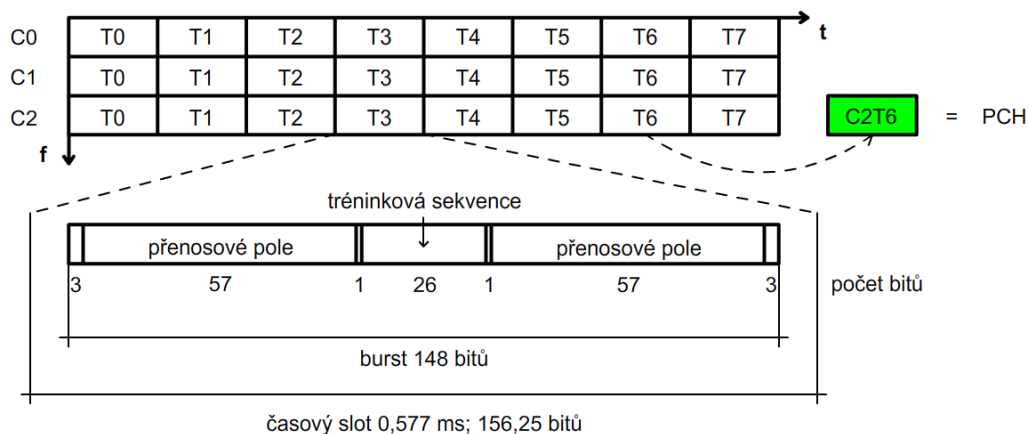


Obr. 9: Frekvenční dělení v síti E-GSM.

uplink	downlink	ARFCN	carrier index
↑ 882,0 MHz	↑ 927,0 MHz	964	= C0
↑ 892,4 MHz	↑ 937,4 MHz	12	= C1
↑ 913,8 MHz	↑ 958,8 MHz	119	= C2

Obr. 10: ARFCN vybraných kanálů sítě E-GSM a jejich přiřazení ke carrier indexům buňky.

Frekvenční kanál je časově rozčleněn na 8 časových slotů. Každý časový slot trvá 156,25 symbolových period, tedy bitů. Těchto 8 časových slotů tvoří 1250 bitů dlouhý rámec. Přesným označením časového slotu a ARFCN vzniká fyzický kanál PCH (Physical Channel) a je uvedený jako „C_nT_m“, kde n je místní index nosné v buňce a m je index časového slotu (0-7).



Obr. 11: Fyzický kanál PCH a normální burst.

Každý časový slot je obsazen „shlukem“ dat označeným jako burst. Nejčastěji je normální burst NB (Normal Burst) viz obr. 11. Tento burst má délku 148 bitů, skládá se z ochranného intervalu, dvou přenosových polí a uprostřed se nachází tréninková sekvence. Délka těchto polí se liší podle typu burstu, ale maximální délka je shodná, vždy 156,25 bitů.

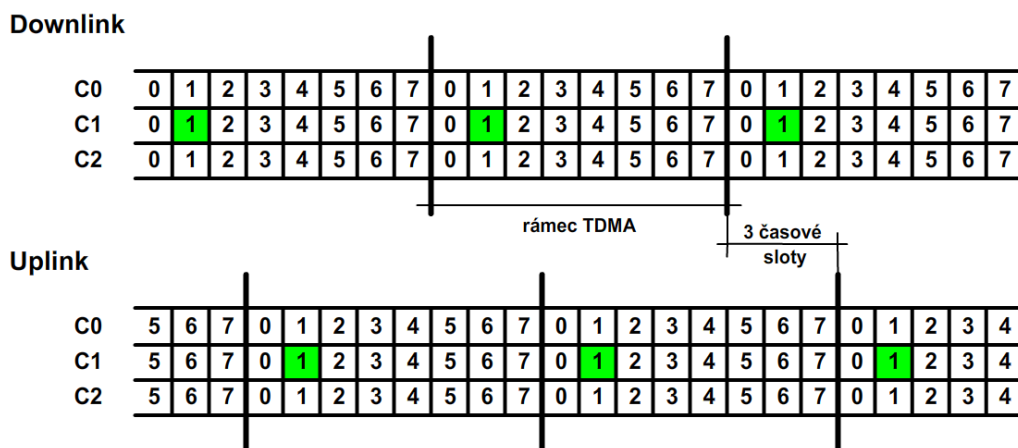
Normální burst NB se používá k přenosu informací na různých logických kanálech. Jednotlivé bursty jsou od sebe odděleny ochrannými intervaly, během nichž nejsou vysílány žádné bity. Na začátku a konci burstu jsou tři ohraničující bity, vždy s nastavenou logickou 0. Tyto bity vyplňují i krátký okamžik, kdy se mění vysílací výkon stanice a kdy není možný žádný přenos. Dále jsou zde signalizační značky SF (Stealing Flags), ty označují zda burst nese užitečná nebo signalizační data. Jsou zde i dva užitečné bloky dat o délce 57 bitů, oba jsou chráněny vůči chybám a kanálově kódovány. Mezi nimi se nachází prostřední část, tzv. tréninková sekvence. Ta má délku 26 bitů a sestává z předem známé posloupnosti dat, jejichž příjem slouží k optimalizaci přenosu, tzv. ekvalizaci, kdy ekvalizér odstraní nebo sníží intersymbolovou interferenci, která je způsobena vícecestným šířením rádiových signálů. Pokud má uživatel přidělen jeden slot, pak maximální přenosová rychlost je $24,7 \text{ kbit.s}^{-1}$ (bez jakékoliv korekce chyb).

Kromě normálního burstu NB existuje ještě burst synchronizace frekvence FB (Frequency Correction Burst), synchronizační burst SB (Synchronization Burst) pro časovou synchronizaci, výstelkový burst DB (Dummy Burst) a přístupový burst AB (Access Burst).

Rámce dohromady tvoří vyšší struktury. Nejvyšší strukturou je hyper rámec, ten je dlouhý 3 h 28 min 53,76 s, čehož je využíváno pro synchronizaci šifrování uživatelských dat. Hyper rámec se dále dělí na 2048 super rámců, každý o délce 6,12 s. Super rámec může být složen buďto z 26 multi rámců, převažují-li provozní rámce nebo z 51 multi rámců převažují-li signalizační (řídící) rámce. Multi rámce mohou být v závislosti na obsahu složeny z 26 nebo 51 rámců.

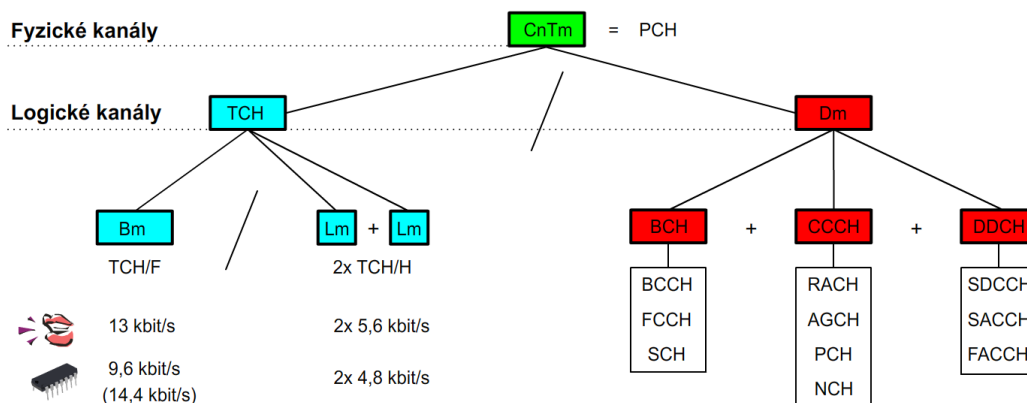
Aby mohla mobilní stanice vysílat a přijímat bursty ve slotech se stejným číselným označením bez toho, aby musela splňovat podmínku současného vysílání a přijímání dat, jsou časové sloty směru uplink a downlink přeuspořádány základnovou stanicí. Přesněji je pozdržen

start TDMA rámce ve směru uplink a to vždy o periodu tří časových slotů oproti startu TDMA rámce ve směru downlink viz obrázek 12. Podmínky kladené na mobilní stanice ve smyslu adaptivního zarovnání rámce, přeladění vysílače a přepínání příjmu/vysílání jsou takové, že mobilní stanice musí být schopna přijmout burst, odeslat burst a monitorovat okolní buňky v rámci se stejným číselným označením.



Obr. 12: Prodleva mezi časovými sloty směru downlink a uplink.

Vrátíme-li se zpět ke kanálové struktuře, pak po fyzických kanálech jsou přenášeny kanály logické. Logické kanály jsou v síti GSM rozděleny na provozní (přenosové) TCH (Traffic Channel) a řídicí kanály Dm, viz obr. 13. Logické kanály podléhají řízení – musí být ustanoveny, udržovány a ukončeny. [6]



Obr. 13: Provozní a řídicí logické kanály a jejich dělení.

Provozní kanály TCH jsou používány pro přenos užitečných dat a to hlasu nebo datového provozu. Komunikace po provozním kanálu může probíhat buď jako okruhově orientovaná, či jako paketově orientovaná. Při okruhově orientovaném spojení lze použít transparentní způsob přenosu nebo netransparentní, kdy se použije předem domluvené přemapování pořadí odesílaných paketů pro zvýšení bezpečnosti, např. u přenosu hlasu, detaily například zde [8]. Toto je uskutečněno za pomoci aktivace mechanismů v RLP (Radio Link Protocol) protokolu 2.

vrstvy referenčního modelu OSI. Při paketově orientovaných přenosech se pro přenos dat vrstev 2 a 3 používá standard X.25, či jiný podobný protokol pro paketové přenosy.

Provozní kanál TCH může pracovat v úplném módu, kanál je dále označen jako TCH/F (full-rate TCH) nebo může být rozdělen na dva kanály s poloviční přenosovou rychlostí TCH/H (half-rate TCH), z nichž každý může být přidělen samostatnému uživateli. Plnohodnotný kanál TCH/F je dle terminologie ISDN (Integrated Service Digital Network) označen jako Bm kanál (mobile B channel – mobilní B kanál) a poloviční kanál TCH/H jako Lm kanál (lower-rate mobile channel – mobilní kanál s nízkou přenosovou rychlostí). Bm kanál je využíván buďto pro přenos digitálně kódovaného hlasu rychlostí 13 kbit.s^{-1} anebo pro datové přenosy s rychlostí $9,6 \text{ kbit.s}^{-1}$ a méně (později až $14,4 \text{ kbit.s}^{-1}$, viz kapitola 3.1). Lm kanál se používá pro digitálně kódovaného hlasu s rychlostí $5,6 \text{ kbit.s}^{-1}$ anebo pro datové přenosy s rychlostí $4,8 \text{ kbit.s}^{-1}$ a méně. Přehled kanálů lze vidět v tabulce 2. Konkrétnější detaily lze najít zde [5].

Skupina kanálů		Kanál	Popis	Směr
Provozní kanály	TCH	TCH/F (Bm)	Traffic Channel / Full Plnohodnotný kanál provozu	MS <--> BSS
		TCH/H (Lm)	Traffic Channel / Half Kanál provozu s nízkou rychlostí přenosu	MS <--> BSS
Signalizační kanály	BCH	BCCH	Broadcast Control Channel Kanál řízení vysílání	MS <-- BSS
		FCCH	Frequency Correction Channel Kanál frekvenčních úprav	MS <-- BSS
		SCH	Synchronization Channel Synchronizační kanál	MS <-- BSS
	CCCH	RACH	Random Access Channel Kanál s náhodným přístupem	MS --> BSS
		AGCH	Access Grant Channel Kanál povolení přístupu	MS <-- BSS
		PCH	Paging Channel Vyhledávací kanál	MS <-- BSS
		NCH	Notification Channel Oznamovací kanál	MS <-- BSS
	DCCH	SDCCH	Stand-alone Dedicated Control Channel Nezávislý dedikovaný řídicí kanál	MS <--> BSS
		SACCH	Slow Associated Control Channel Pomalý přidružený řídicí kanál	MS <--> BSS
		FACCH	Fast Associated Control Channel Rychlý přidružený řídicí kanál	MS <--> BSS

Tab. 2: Přehled logických kanálů systému GSM

Již z obecného náhledu na počet uživatelů a komplexnost sítě je zřejmé, že bezdrátová síť vyžaduje velké nároky na správu a řízení. I bez aktivního užitečného spojení musí základnová stanice udržovat s mobilní stanicí kontakt tak, aby mohla mobilní stanice základnové stanici kdykoliv odeslat data nebo je naopak sama přijmout. Základnová stanice tedy musí znát alespoň přibližně polohu mobilní stanice. Protože nejde o přenosy trvalé, tak jsou v těchto případech použity paketově orientované přenosy po několika typech logických kanálů. Souhrnně je dle terminologie ISDN nazýváme řídicí Dm kanály (mobile D channels) a dále je dělíme na:

- vysílací kanály BCH (Broadcast Channels),
- obecné řídicí kanály CCCH (Common Control Channels),
- a dedikované (věnované) řídicí kanály DCCH (Dedicated Control Channels).

Jednosměrné vysílací kanály BCH jsou použity subsystémem základnových stanic BSS k vysílání jednotných informací základnovou stanicí všem mobilním stanicím nacházejícím se právě v buňce. Skupina se skládá ze tří kanálů:

- Kanál řízení vysílání BCCH (Broadcast Control Channel) – na tomto kanále se mobilním stanicím vysílají informace charakterizující síť. Jde např. o kanály používané aktuální i sousedními základnovými stanicemi; synchronizační informace jako číslo lokální oblasti LAI (Location Area Identifier), identifikační číslo buňky CI (Cell Identifier) a identifikační kód základnové stanice BSIC (Base Transceiver Station Identity Code); informace o formátu (struktuře) skupiny obecných řídicích kanálů. Kanál BCCH je vysílán na kanále COT0.
- Kanál frekvenčních úprav FCCH (Frequency Correction Channel) – jak již z názvu plyne, tak se po tomto kanále odesílají mobilním stanicím informace o korekcích přenosové frekvence.
- Synchronizační kanál SCH (Synchronization Channel) – tento kanál vysílá informace k identifikaci základnové stanice jako BSIC a také data pro rámcovou synchronizaci jako je zkrácené číslo rámce RFN (Reduced Frame Number) označující rámec TDMA.

Kanály FCCH a SCH jsou viditelné pouze v rámci vrstvy 1, protože informace v nich obsažené jsou potřebné pro provoz rádiového subsystému. Není zde přístup z vrstvy 2 dle RM-OSI. Tyto dva kanály jsou vždy vysílány společně s kanálem BCCH.

Řídicí kanály CCCH jsou kanály typu bod-více bodů a spravují přístupové funkce v síti, jedná se o přidělování dedikovaných kanálů a vyhledávání k lokalizaci mobilní stanice. Patří zde kanály:

- Kanál s náhodným přístupem RACH (Random Access Channel) – jedná se o uplink (vysílací z pohledu mobilní stanice) část řídicích kanálů CCCH. Na tento kanál přistupují mobilní stanice tak, že vzájemně „soupeří“ o přístupový slot. Jde o metodu mnohonásobného přístupu používající princip „slotová ALOHA“ (Slotted Aloha) pro vyslání požadavku o přidělení dedikovaného signalizačního kanálu

konkrétní mobilní stanici, která o něj žádá, a to pro vyslání jedné signalizační informace.

- Kanál povolení přístupu AGCH (Access Grant Channel) – jde o downlink (přijímací z pohledu mobilní stanice) část řídicích kanálů CCCH. Tento kanál se používá pro přidělení nezávislého dedikovaného řídicího kanálu SDCCH (Stand-alone Dedicated Control Channel) nebo provozního kanálu TCH mobilní stanici.
- Vyhledávací kanál PCH (Paging Channel) – jedná se rovněž o část downlinku kanálů CCCH. Tento kanál je použit při vyhledávání k nalezení konkrétní mobilní stanice.
- Oznamovací kanál NCH (Notification Channel) je používán pro informování mobilních stanic o příchozích skupinových nebo celoplošných hovorech.

Poslední skupinou jsou obousměrné dedikované řídicí kanály DCCH, jde vždy o spojení typu bod-bod a patří zde kanály:

- Nezávislý dedikovaný řídicí kanál SDCCH – Tento signalizační kanál není spřažen s existencí provozního kanálu, je tedy používán pro signalizaci mezi mobilní stanicí a subsystémem základnových stanic v případě, pokud zde není žádné aktivní spojení. O kanál SDCCH žádá mobilní stanice přes kanál RACH a oznámení o přiřazení přijme kanálem AGCH. Po dokončení signalizačního spojení je kanál SDCCH uvolněn a může být přiřazen jiné mobilní stanici. Příkladem přenosů po kanále SDCCH je např. aktualizace lokačních informací nebo část signalizace při sestavování hovoru jako výměna autorizačních a šifrovacích informací.
- Pomalý přidružený řídicí kanál SACCH (Slow Associated Control Channel) – je vždy přiřazen a používán s provozním kanálem TCH nebo dedikovaným kanálem SDCCH. Tento přidružený kanál nese informace pro nejvhodnější rádiový provoz jako příkazy pro synchronizaci a řízení intenzity vysílaného signálu a hlášení o kanálových měřeních. Data musí být kanálem SACCH přenesena kontinuálně, neboť příchod paketů kanálu SACCH je brán jako důkaz existence fyzického rádiového spojení. Pokud zde nejsou žádná data k odeslání, pak mobilní stanice odešle hlášení o kanálovém měření s výsledky trvale prováděných měření intenzity okolního rádiového signálu.
- Rychlý přidružený řídicí kanál FACCH (Fast Associated Control Channel) – užitím dynamického přednostního multiplexování na provozním kanále TCH může být vytvořena dodatečná kapacita využitelná pro signalizaci. Tento kanál je vytvořen a přiřazen pouze společně s provozním kanálem TCH a veškerý provoz na něm probíhající jde na úkor přenosové rychlosti užitečných uživatelských dat.

Mimo všechny tyto kanály, je definován ještě buňkový vysílací kanál CBCH (Cell Broadcast Channel), který je používán pro vysílání zpráv systému SMSCB (Short Message Service Cell Broadcast). Kanál CBCH sdílí fyzické médium s kanálem SDCCH. [5, 9]

Přehled parametrů všech popsaných kanálů lze najít v tabulce č. 3.

Kanál	Potřebná propustnost sítě [kbit.s ⁻¹]	Velikost bloku [bit]	Doba trvání bloku [ms]
TCH/F - hlas	13	182+78	20
TCH/H - hlas	5,6	95+17	20
TCH/F - data 14,4 kbit.s ⁻¹	14,5	290	20
TCH/F - data 9,6 kbit.s ⁻¹	12	60	5
TCH/H - data 4,8 kbit.s ⁻¹	6	60	10
TCH/H - data 2,4 kbit.s ⁻¹	3,6	72	10
FACCH - plný	9,2	184	20
FACCH - poloviční	4,6	184	40
SDCCH	0,78	184	235,4
SACCH včetně TCH	0,38	168+16	480
SACCH včetně SDCCH	0,39	168+16	470,8
BCCH	0,78	184	235,4
AGCH	n x 0,78	184	235,4
NCH	m x 0,78	184	235,4
PCH	p x 0,78	184	235,4
RACH	r x 0,03	8	235,4
CBCH	0,78	184	235,4

Tab. 3: Parametry logických kanálů systému GSM.

Základnová stanice může podle potřeby používat různé dovolené kombinace logických kanálů dle tabulky 4.

		kombinace							
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
kanály	TCH/F								n+m
	TCH/H								
	TCH/H								
	BCCH								
	CCCH								
	SDCCH								
	SACCH								n+m
	FACCH								

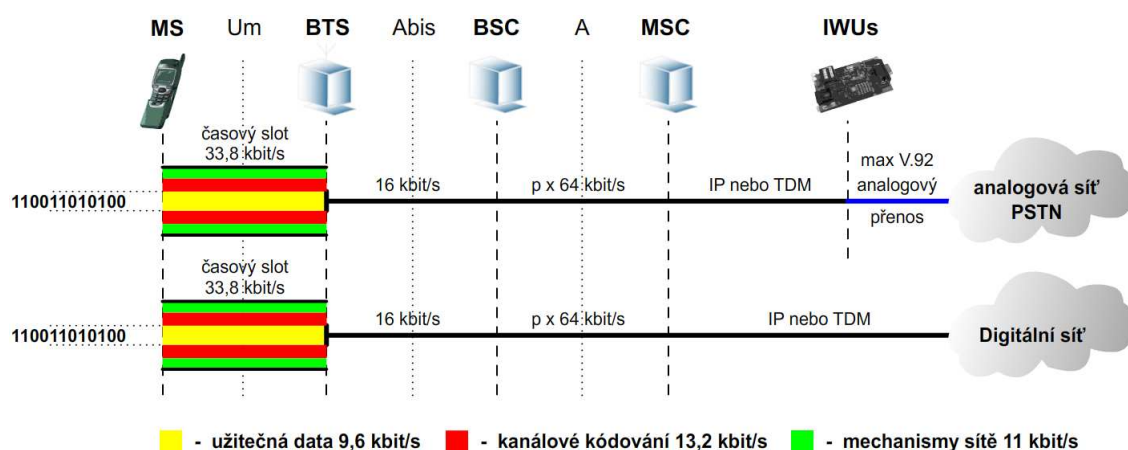
Tab. 4: Možné kombinace logických kanálů v síti GSM.

2.1.3 CSD

Základní typ datového přenosu specifikovaný v prvních fázích vývoje je nazýván CSD (Circuit Switched Data), což bychom mohli česky nazvat jako okruhově orientovaný přenos dat. Jde o spojení bod-bod. U přenosů tohoto druhu vzniká po ustanovení mezi oběma stranami souvislá přenosová cesta s předem vyhrazenou a garantovanou přenosovou kapacitou kanálu. Pro přenos se používá jeden časový slot s hrubou kapacitou $33,8 \text{ kbit.s}^{-1}$, z této je 11 kbit.s^{-1} využito k zajištění funkčnosti samotné sítě GSM a dalších $13,2 \text{ kbit.s}^{-1}$ je rezervováno pro režii mechanismů zajišťujících spolehlivost přenosů, tedy pro kanálové kódování. Zbývajících $9,6 \text{ kbit.s}^{-1}$ je k dispozici pro čistý datový tok.

Spojení začíná vytočením čísla poskytovatele, tzv. ISP (Internet Service Provider), obdobně jako při ustanovení modemového dial-up spojení. Autentizace není vyžadována. Uživateli je přidělena IP adresa a zaslána informace o DNS (Domain Name Server) serverech. Uživateli je nabídnuta přenosová rychlost jednoho plného fyzického kanálu s dopřednou opravou chyb FEC (Forward Error Correction), tedy max. zmíněných $9,6 \text{ kbit.s}^{-1}$, lze použít i rychlosti $4,8$ a $2,4 \text{ kbit.s}^{-1}$. K ustavení spojení je možno využít standardy analogových modemů V.22bis a V.32 či digitální ISDN normu V.110. Trasa datového signálu je jednotná až po mobilní ústřednu MSC, kde nastává rozdíl při přístupu do analogové sítě PSTN, kdy je nutné použít tzv. IWU (Inter Working Unit) jednotku, která se postará o převod signálu do analogové formy. V případě přístupu do digitální sítě ISDN nebo Internet je spojení navazováno přímo, bez využití jednotky IWU. [10]

Jelikož se jedná o okruhově orientovaný přenos, je trasa dedikována a zarezervována pouze jedné uživatelské stanici bez ohledu na to, zda jsou data přenášena nebo ne. Tomuto uspořádání odpovídá i účtování, které je obdobné hlasovému, účtuje se tedy čas, po který je udržováno spojení na lince. Schéma takového spojení lze vidět na obrázku 14.



Obr. 14: Schéma spojení CSD v síti GSM.

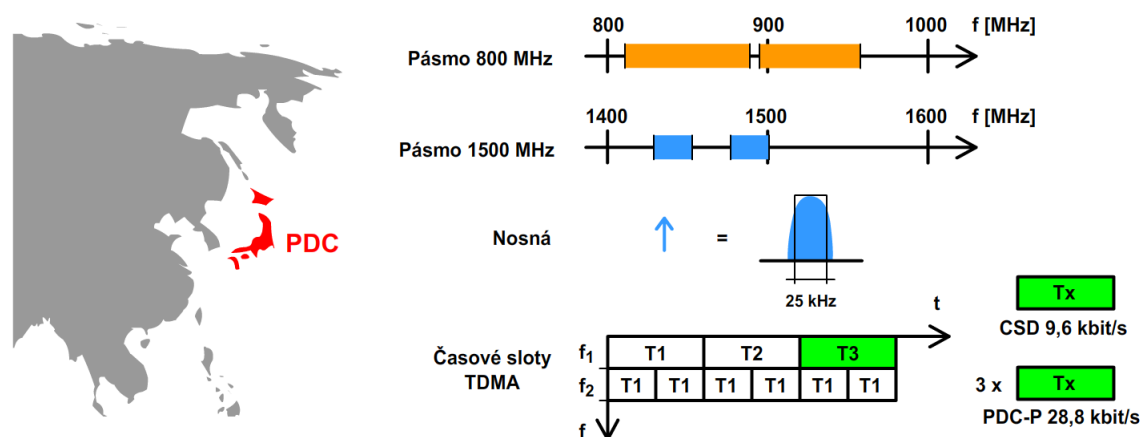
Nevýhodou tohoto typu spojení je jeho nízká rychlost, neboť už i v době uvedení se přenosová rychlost po pevných linkách pohybovala okolo 3 a více násobku (tj. $33,6 \text{ kbit.s}^{-1}$ a více) tohoto typu spojení. Dlouhá byla také doba sestavení spojení, protože se musí vytvořit číslo

a čekat na příjem serverem. Tarifkace může být také v určitých případech nevýhodná. V určité situaci, pokud si uživatel stáhne text, který pak čte, pak platí i za dobu jeho čtení, aniž se přenášejí další data. Implementace tohoto způsobu přenosu ovšem byla relativně jednoduchá a využívala z čím jak největší části již navrženou hlasovou infrastrukturu sítě.

2.2 PDC

V Japonsku byla na obdobných základech, jako v Evropě síť GSM, specifikována síť PDC (Personal Digital Cellular). Síť používá časově dělený mnohonásobný přístup TDMA, kanál má šířku 25 kHz, modulace je na principu fázových posunů tedy PSK (Phase-Shift Keying), jeden frekvenční kanál se dělí na 3 časové sloty o rychlosti $11,2 \text{ kbit.s}^{-1}$ nebo 6 časových slotů o rychlosti $5,6 \text{ kbit.s}^{-1}$ při použití hlasového kodeku s poloviční přenosovou rychlostí. Síť PDC byla specifikována pro dvě pásma, v okolí kmitočtu 800 MHz (downlink 810-888 MHz /uplink 893-958 MHz) a v okolí kmitočtu 1500 MHz (downlink 1477-1501 MHz /uplink 1429-1453 MHz). Shrnutí lze nalézt na obrázku 15.

V síti PDC byly implementovány datové služby na bázi okruhově orientovaných přenosů – CSD o rychlosti až $9,6 \text{ kbit.s}^{-1}$ a také na bázi paketově orientovaných přenosů tzv. PDC-P (Personal Digital Cellular-Packet) a to až rychlostí $28,8 \text{ kbit.s}^{-1}$.



Obr. 15: Japonská síť PDC a její hlavní parametry.

2.3 D-AMPS

Rovněž v Americe byl systém AMPS převeden do digitální podoby. Každý frekvenční kanál stávajícího páru původního analogového systému o šířce 30 kHz byl rozdělen na tři časové sloty, jde tedy o metodu TDMA, a přenášený hlas byl digitálně zkomprimován. Tím došlo k trojnásobnému navýšení kapacity sítě a zároveň se zamezilo odposlouchávání analogovými přijímači. Digitální signál byl kódován, ovšem použitý algoritmus nebyl nikterak složitý. D-AMPS zaštiťuje dva standardy, tzv. IS-54 (Interim Standard-54) a IS-136, který vylepšoval původní IS-54 a přidával například podporu datových přenosů CSD.

Sítě D-AMPS byly z velké části již vypnuty ve prospěch sítí na bázi CDMA nebo modifikací sítě GSM.

3 Digitální sítě 2,5. generace

Názvosloví generací mobilních sítí se nyní stává poněkud pokřiveným. Vývoj sítí dále pokračoval, došlo ke změnám v architekturách sítí a byly implementovány nové služby. Pojem „dvou-a-pultá“ generace se tedy používá vesměs na sítě druhé generace, v nichž byly integrovány prvky podporující paketově orientované přenosy. Tato práce se dále soustředí již jen na evropský standard – síť GSM a její evoluční vývoj, popř. nástupnickou síť UMTS (Universal Mobile Telephone System), která staví na systému GSM a asimiluje jej.

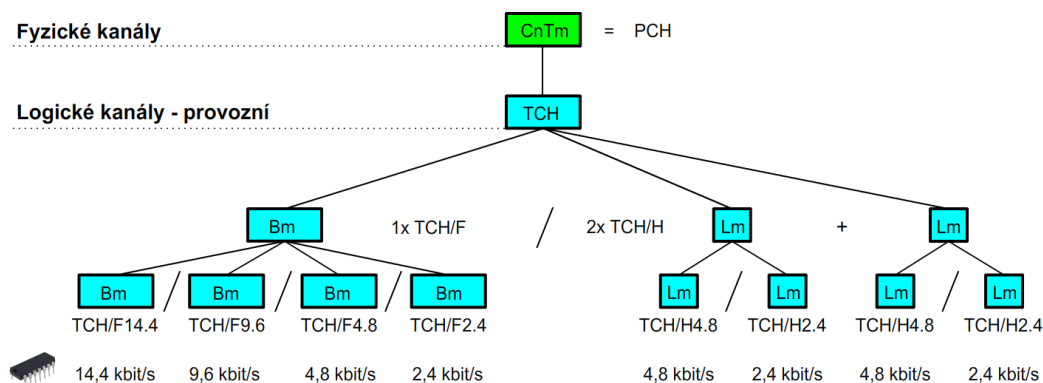
3.1 GSM

První dvě fáze specifikací systému GSM položily dobré základy pro jeho další rozvoj směrem k síti třetí generace. Následující specifikace označuje ETSI jako GSM Phase 2+. V Release '97 byly provedeny změny v jádru sítě CN (Core Network), kam byly integrovány prvky architektury GPRS (General Radio Packet System). Obdobně byly provedeny změny i v přístupové síti, a to v okruhově i paketově orientovaném režimu, s cílem dosáhnout vyšší přenosové rychlosti a kapacity sítě. V Release '96 až Release '98 šlo tedy o změny:

- nové služby na nosné frekvenci a datově orientovaná vylepšení jako HSCSD (High Speed Circuit Switched Data), užitečná rychlost přenosu ve slotu byla navýšena na $14,4 \text{ kbit.s}^{-1}$, paketové spojení na bázi GPRS,
- řečové kodeky EFR (Enhanced Full-Rate, GSM 06.60) a AMR (Adaptive Multi-Rate, GSM 06.90), oba s možností volby datového toku,
- doplňky týkající se lokalizace mobilní stanice jako identita buňky, časového předstihu TA (Timing Advance), U-TDOA (Uplink Time Difference of Arrival) a A-GPS (Assisted Global Positioning System)
- doplnění standardů pro frekvence 450 MHz (Tanzanie), 750 MHz, 850 MHz (USA - venkov), DCS (Digital Cellular Service) 1800 MHz (Evropa, Amerika) a PCS (Personal Communications Service) 1900 MHz (USA - městské oblasti) pro použití v oblastech, kde je již frekvence 900 MHz využita nebo zde byla nedostačující kapacita sítě,
- vylepšení služeb zpráv jako zřetězení SMS zpráv, rozšíření abecedy zpráv (za cenu zkrácení zprávy), přeposílání SMS zpráv,
- z dalších služeb šlo o odklonění hovoru, ECT (Explicit Call Transfer) neboli sloučení dvou příchozích hovorů, signalizace user-to-user neboli od uživatele k uživateli, CCBS (Completion of Calls to Busy Subscribers) neboli dokončení spojení volanému poté, co přestane být v obsazeném stavu anebo platforma CAMEL (Customised Applications for Mobile networks Enhanced Logic). [11, 12]

3.1.1 TCH/F14.4

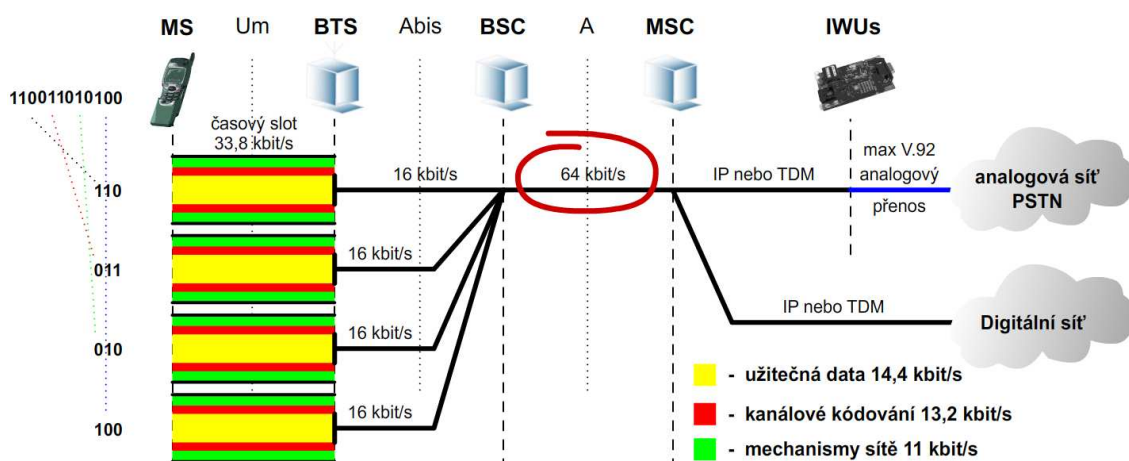
V první fázi specifikace sítě GSM byl definován pouze základní přenosový model. Byl postaven tak, aby bylo využito čím jak nejvíce specifikovaných prvků pro přenos hovoru a jeho implementace tak byla jednoduchá. Toto omezení mělo sice dopad na maximum přenosové rychlosti, ovšem jednalo se o první digitální způsob přenosu dat bezdrátovým prostředím po mobilní síti. Limitace byla dána použitím jednoho časového slotu TDMA. Přenosová rychlost dat tedy dosahovala $9,6 \text{ kbit.s}^{-1}$. Kanálového kódování, které bylo v původních standardech dimenzováno tak, aby přenos vyhověl i při velmi špatných podmínkách, ale zároveň zbytečně ubíralo datové propustnosti při podmínkách dobrých nebo výborných, bylo upraveno a byly povoleny i jiné možnosti nastavení, kterými se dosáhlo v provozním kanále přenosové rychlosti až $14,4 \text{ kbit.s}^{-1}$. Pro zpřesnění názvosloví bylo zavedeno pojmenování provozního kanálu nejen s jeho velikostí vůči slotu - plný/poloviční (full/half), ale i včetně přenosové rychlosti a vypadalo tedy: TCH/F14.4 pro plný kanál $14,4 \text{ kbit.s}^{-1}$, TCH/F9.6 pro plný kanál $9,6 \text{ kbit.s}^{-1}$ a obdobně pak dále TCH/F4.8, TCH/H4.8, TCH/F2.4, TCH/H2.4. Vše je přehledně na obrázku 16.



Obr. 16: Dělení provozních logických kanálů Release '96.

3.1.2 HSCSD

HSCSD (High Speech Circuit-Switched Data) bylo specifikováno již ve vydání Release '96 sítě GSM, vývojově ovšem spadá pod GSM Phase 2+. HSCSD zakládá na paralelismu. Uživatelské stanice zřetězí několik provozních logických kanálů pro větší přenosovou rychlost. Z těchto kanálů je jeden hlavní a ostatní přidružené. Použití HSCSD znásobí přenosové rychlosti v síti GSM na rádiovém rozhraní teoreticky až na hodnotu $115,2 \text{ kbit.s}^{-1}$, při použití upraveného kanálového kódování $14,4 \text{ kbit.s}^{-1}$. Maximálně, je ovšem v praxi možné dosáhnout hodnoty 64 kbit.s^{-1} a to kvůli limitaci na rozhraní A, viz obrázek 17, tj. mezi subsystémem základnových stanic BSS a mobilní ústřednou MSC, kde se používají spoje E1 systému PDH, které jsou složeny z 64 kbit.s^{-1} časových slotů. Všechny paralelní HSCSD kanály jsou v řídicím uzlu BSC multiplexovány do jednoho 64 kbit.s^{-1} časového slotu. Pro navýšení by veškerá technologie participující na tomto spojení musela být upravena pro vhodný typ multiplexace tohoto okruhově orientovaného spojení.



Obr. 17: Limitace v síti GSM při přenosech HSCSD.

Hlavní výhoda HSCSD, oproti jiným nově uvedeným druhům přenosu dat, spočívá v relativně jednoduchém a levném způsobu implementace rychlejších přenosů dat v síti GSM, protože je nutné provést pouze malé úpravy na zařízeních v síti. Uživatelské stanice ovšem musí být vylepšeny tak, aby podporovaly více-slotový přenos. Obvykle (pokud tato síť podporuje) je v praxi použito schéma tzv. 4+1, tedy 4 časové sloty pro downlink, $4 \times 14,4 = 57,6 \text{ kbit.s}^{-1}$ a 1 časový slot pro uplink, $1 \times 14,4 = 14,4 \text{ kbit.s}^{-1}$. V tomto případě hovoříme o tzv. třídě 10, přehled jednotlivých tříd lze vidět v tabulce 5. Stanice může být buďto typu 1, tedy není po ní vyžadováno simultánní vysílání a příjem, což je většina mobilních stanic, protože v tomto případě jde o jednodušší konstrukci rádiového rozhraní. Nebo typu dvě, kdy je požadováno simultánní vysílání a příjem.

HSCSD tedy do sítě zavádí nový princip, který umožňuje datová spojení slučovat a rozdělovat na n datových toků, které jsou poté přenášeny n kanály přes rádiové rozhraní, kde $n = 1, 2, 3, \dots, 16$. Po rozdělení jsou datové toky přenášeny n provozními kanály TCH/F14.4 (možno i TCH/F9.6) a nazýváme je HSCSD kanály. Pracujeme s nimi jako by byly vzájemně nezávislé, to vše kvůli datovému přenosu a korekci chyb L1 na rádiovém rozhraní, a to až do bodu v síti, kde dojde k jejich sloučení. Z pohledu logické konfigurace ovšem všech n provozních kanálů spadá pod jednu konfiguraci HSCSD a proto je s nimi nakládáno jako s jedním rádiovým spojením např. při buňkových operacích, jako je handover.

HSCSD může být provozováno v transparentním i netransparentním módu a v obou zmíněných může být spojení ustaveno v jakékoliv třídě, minimem je vždy jeden kanál TCH/F.

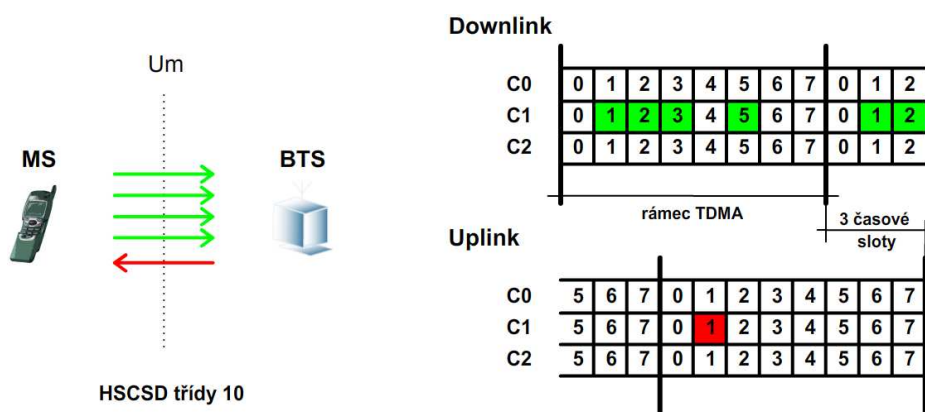
Uživatelská stanice může požádat o změnu třídy během spojení, pokud byla podpora této služby vyjednána při ustanovení spojení. Tuto změnu lze provést pouze v netransparentním typu spojení.

V transparentním módu nesou rámce V.110 v kanálech HSCSD číslování, aby bylo zachováno pořadí. Netransparentní mód HSCSD je realizován modifikací linkového protokolu rádiové vrstvy (RLP) a protokolu L2R linkové podvrstvy tak, aby byl podporován paralelní přenos více provozních kanálů TCH namísto jednoho.

Třída	Maximální počet slotů			Typ
	Rx	Tx	Celkem	
1	1	1	2	1
2	2	1	3	1
3	2	2	3	1
4	3	1	4	1
5	2	2	4	1
6	3	2	4	1
9	3	2	5	1
10	4	2	5	1
12	4	4	5	1
13	3	3	6	2
14	4	4	8	2
15	5	5	10	2
16	6	6	12	2
17	7	7	14	2
18	8	8	16	2

Tab. 5: Třídy HSCSD.

Z pohledu poměru odchozího a příchozího datového provozu existují dva typy konfigurace HSCSD – symetrická a asymetrická. V obou konfiguracích mohou a nemusí být kanály přiřazeny v sousedních časových slotech, viz obr. 18, a to dle omezení jednotlivých tříd HSCSD. Symetrická konfigurace spočívá v přidělení obousměrného provozního kanálu TCH/F. Při asymetrické konfiguraci je přidělen jednosměrný nebo obousměrný provozní kanál TCH/F. Po jednosměrných kanálech jsou v HSCSD přenášeny data pouze ve směru k uživateli, jde tedy o downlink kanály. Pro všechny kanály je použita stejná tréninková sekvence i sekvence frekvenčních přeskoků.



Obr. 18: HSCSD třídy 10 a provoz na sousedních i nesousedních časových slotech.

Při symetrickém uspořádání se odesílá individuální měření kvality signálu v každém kanálu. Při nesymetrickém kanálovém uspořádání je provedeno měření na všech kanálech včetně jednosměrných a nejhorší výsledek je odeslán po hlavním obousměrném kanálu.

V základní konfiguraci postačuje pro provoz HSCSD pouze jeden řídicí kanál FACCH společně s jedním provozním kanálem TCH. Tento provozní kanál je hlavní a musí se tedy jednat o obousměrný kanál.

3.1.3 GPRS

Paketový systém GPRS bychom mohli zjednodušeně na úvod označit jako síť v síti. Má své vlastní funkční prvky, vlastní rozhraní a principy.

Brzy po spuštění prvních sítí GSM a počátku využívání datových služeb v polovině 90. let 20. století, vyšlo najevo, že okruhově orientovaná datová spojení nejsou vhodná pro všechny typy datových přenosů, především ne shlukovitých. Okruhově orientované spojení má dlouhou dobu ustavení, rezervuje část zdrojů pouze jedné stanici a tarifkace je za dobu spojení. V paketových sítích se naopak zdroje rezervují stanici pouze po dobu přenosu, jinak jsou uvolněny pro ostatní uživatele, což je velmi efektivní ve spojení s přenosy shlukovité povahy. Systém GPRS má velmi krátkou dobu ustanovení spojení a tarifkace je založena pouze na množství přenesených dat.

Se zavedením služby GPRS byla značně pozměněna původní architektura sítě GSM. Byla přidána nová třída síťových prvků zvaná podpůrné uzly GPRS, zkráceně GNSs (GPRS Support Nodes). Tyto podpůrné uzly GNSs zodpovídají za doručení a směrování datových paketů mezi mobilními stanicemi a vnějšími datovými paketovými sítěmi.

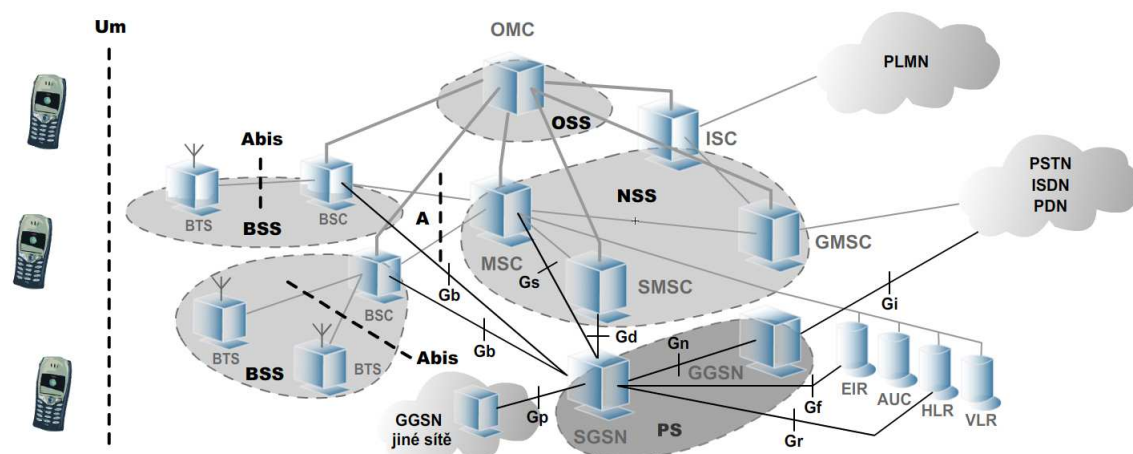
Obslužný uzel SGSN (Serving GPRS Support Node) doručuje datové pakety z a k mobilním stanicím MS v jeho obslužné oblasti. Jeho úkoly zahrnují směrování a přenos paketů, funkce připojení/odpojení mobilních stanic a jejich autentifikace a také správu logických spojení. Lokační registr uzlu SGSN ukládá lokalizační informace o MS jako pozice v konkrétní buňce, v konkrétním registru VLR a také informace o uživateli jako identifikační číslo IMSI (International Mobile Subscriber Identity) a adresu používanou v paketové síti. Tyto informace jsou v registru uloženy o všech uživateli spravovaných konkrétním uzlem SGSN.

Brána GGSN (Gateway GPRS Support Node) se chová jako rozhraní do externích paketových sítí, zpravidla Internetu. Brána převádí pakety GPRS přicházející z uzlu SGSN do vhodného formátu paketové datové sítě PDN (Packet Data Network), jako jsou protokoly IP nebo X.25, a odesílá je do příslušné externí sítě. V opačném směru je příchozí adresa paketového protokolu, typicky IP v.4 adresa, převedena na adresu sítě GSM konkrétního uživatele. Pakety s pozměněnou adresou jsou přeposlány uzlu SGSN zodpovídajícímu za tohoto uživatele. Pro tento účel jsou v registru uzlu GGSN udržovány adresy dostupných uzlů SGSN a profily uživatelů v jejich lokačních registrech.

Na obrázku 19 lze vidět rozhraní mezi podpůrnými uzly GNSs a sítí GSM. Rozhraní Gb propojuje řídicí uzly BSC s obslužným uzlem SGSN. Přes rozhraní Gn a Gp jsou posílána řídicí a užitečná data mezi podpůrnými uzly GNSs. Rozhraní Gn slouží pro komunikaci mezi uzly

Všechny podpůrné uzly GSNs jsou propojeny v GPRS páteřní síti založené na protokolu IP. Uvnitř této sítě podpůrné uzly enkapsulují pakety sítě IP a X.25 a posílají je (tunelují) za pomoci takzvaného tunelovacího protokolu GTP (GPRS Tunneling protocol). V zásadě můžeme rozlišit mezi dvěma druhy páteřních sítí GPRS:

- Intra-PLMN páteřní síť jsou založeny na IP protokolu, vlastní je poskytovatel GPRS spojení (operátor) a spojují jednotlivé podpůrné uzly GSNs v GPRS síti.
- Inter-PLMN páteřní síť spojují podpůrné uzly GSNs různých GPRS sítí. Jsou zřizovány, pokud existuje dohoda o datovém roamingu mezi dvěma poskytovateli GPRS spojení (operátory).



Rozhraní Gn a Gp jsou také používány pro propojení dvou uzlů SGSN. To umožní výměnu uživatelských profilů mezi uzly SGSN, pokud se uživatel přesune z obslužné oblasti jednoho z uzlů do oblasti uzlu druhého. Přes rozhraní Gf si může uzel SGSN prověřit číslo identifikační číslo přístroje mobilní stanice IMEI (International Mobile Equipment Identity). Rozhraní Gi propojuje síť PLMN s externími paketovými sítěmi PDN.

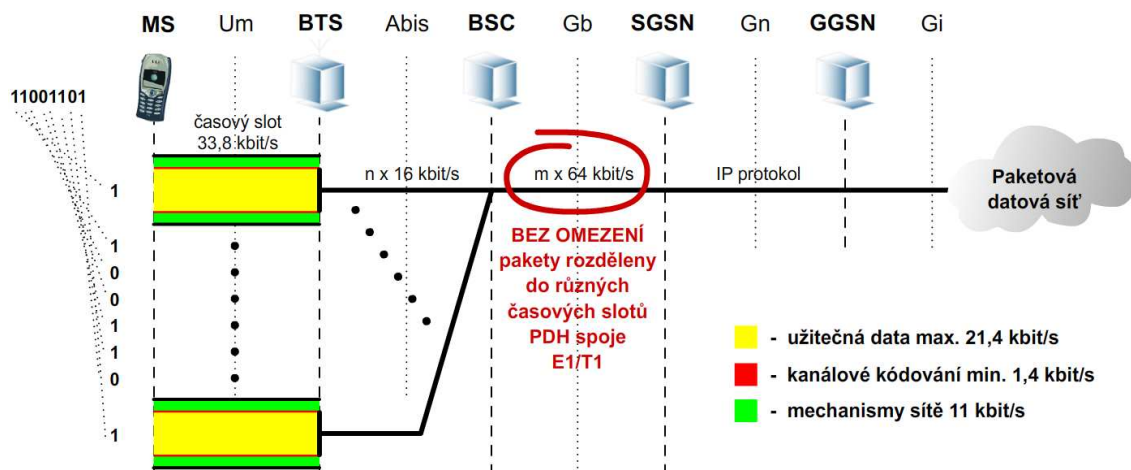
Služba GPRS také rozšiřuje záznamy zavedených registrů sítě GSM. Pro správnou funkčnost správy mobility MM (Mobility management) je lokační registr HLR rozšířen o odkaz na právě používaný uzel SGSN, navíc je uložen i profil služby GPRS a také adresa IP protokolu nebo protokolu X.25. K výměně informací mezi registrem HLR a uzlem SGSN je použito rozhraní Gr. Využito je například v případě, kdy uzel SGSN informuje lokační registr HLR o poloze mobilní stanice. Když se mobilní stanice registruje u nového uzlu SGSN, pak se z registru HLR odešle novému uzlu SGSN aktuální profil GPRS nastavení mobilní stanice. Obdobným způsobem může být použito i rozhraní Gc mezi bránou GGSN a registrem HLR, pro odeslání zmíněného profilu GPRS a pozice mobilní stanice uzlu GGSN.

K zefektivnění operací aktualizace dat v jednotlivých registrech sítě existuje rozhraní Gs, propojující registr uzlu SGSN a návštěvnícký registr VLR mobilní ústředny MCS.

Posledním rozhraním je rozhraní Gd, které spojuje bránu textových zpráv SMS-GMSC (Short Message Service - Gateway Mobile Service Center) a uzel SGSN a které umožňuje přenos textových zpráv SMS přes paketovou službu GPRS.

V páteřní síti Intra-PLMN se také nachází servisní středisko služeb bod-více bodů PTM-SC (Point-To-Multipoint Service Centre), které se stará o služby typu P2M.

Systém GPRS tedy přináší do stávající sítě GSM paketově orientované služby. Díky tomuto systému může uživatel přistupovat do veřejných sítí přímo protokolem IP, popř. PPP (point-to-point protokol) nebo X.25. Mobilní stanice může v GPRS použít až 8 časových slotů rádiového rozhraní a to v závislosti na schopnostech stanice a sítě, viz obr. 20. Tyto kanály jsou stanici přiděleny dynamicky pouze v době, kdy stanice potřebuje odeslat nebo přijmout data posílaná v paketech. Ty mohou být odeslány i ve volných časových slotech během hovoru. Směry uplink a downlink jsou v síti rezervovány samostatně.



Obr. 20: Systém GPRS a princip dělení do časových slotů.

Služba GPRS umožňuje ustanovení spojení typu bod-bod (P2P) i bod-více bodů (P2M). Systém podporuje přenos textových zpráv SMS a také službu PTT (Push To Talk). Teoretické maximum přenosové rychlosti je $171,2 \text{ kbit.s}^{-1}$ za předpokladu, že stanice použije všech 8 časových slotů bez korekce chyb. Při přenosu většího množství užitečných dat v jednom časovém slotu (použití vyšších kódových schémat, vysvětleno dále) vzniká problém na rozhraní A-bis. Subkanál o rychlosti 16 kbit.s^{-1} nedokáže kapacitně vyhovět a proto je zavedeno schéma, kdy je datům, přicházejícím v jednom časovém slotu na rozhraní Um, přiděleno více subkanálů na rozhraní A-bis ($n \times 16 \text{ kbit.s}^{-1}$). Jeden ze subkanálů je hlavní (master) a případné další jsou přidružené (slave).

Pro použití přenosů GPRS musí být mobilní stanice sítě GSM upravena. Zařízení, které podporují systém GPRS pak dělíme do tří typových tříd:

- Třída A – Uživatelská stanice může být připojena k službě GPRS a zároveň využívat službu GSM. Mobilní uživatel může telefonovat během přenosu paketových dat. Tato třída vyžaduje od mobilní stanice větší výpočetní výkon, což ji činí dražší. Existuje pouze několik přístrojů jako např. Sony Ericsson P900 nebo Nokia E63, E66, E71, N78, N95, N96, které spadají do této třídy.
- Třída B – Uživatelská stanice může být připojena k službě GPRS nebo využívat službu GSM. V modelové situaci, kdy uživatel přenáší data za pomoci služby GPRS a zároveň chce uskutečnit telefonní hovor za pomoci služby GSM, se přenos dat přeruší a po ukončení hovoru opět pokračuje. Do této třídy spadá většina mobilních přístrojů.
- Třída C – Uživatelská stanice může být připojena k službě GPRS nebo využívat službu GSM. Uživatel manuálně přepíná mezi službami. Např. v servisním menu telefonů Siemens S45, S55.

Po přístroji, který využívá „pravou“ třídu A, může být vyžadováno vysílání a příjem na dvou frekvencích v jednom okamžiku, tudíž musí obsahovat dvě rádiová rozhraní. Pro obejití tohoto požadavku byl v Release '99 specifikován mód DTM (Dual Transfer Mode). Mobilní stanice v módu DTM může užívat současně služeb GPRS a GSM na jednom páru kanálu (downlink/uplink) s jedním číslem ARFCN. Obvykle je implementována DTM víceslotová třída 11 s rychlostí přenosu download $177,6 \text{ kbit.s}^{-1}$ a upload $118,4 \text{ kbit.s}^{-1}$. Tyto rychlosti již počítají s modulací systému EGPRS (Enhanced GPRS) viz kapitola 4.1.1. Tento způsob přenosu bývá označován také jako jednoduchá třída A (simple class A).

	Kódové schéma			
	CS-1	CS-2	CS-3	CS-4
Příznak stavu směru uplink USF (Uplink state Flag)	3	6	6	12
Informační bity bez USF	181	268	312	428
Paritní bity	40	16	16	16
Koncové bity	4	4	4	
Výstup konvolučního kodéru	456	588	676	456
Děrované bity	0	132	220	
Kódový poměr	1/2	~2/3	~3/4	1
Rychlost přenosu dat [kbit/s]	9,05	13,4	15,6	21,4
Maximální rychlost přenosu dat při použití 8 časových slotů [kbit.s^{-1}]	72,4	107,2	124,8	171,2

Tab. 6: Kódová schémata GPRS.

Mobilní přístroje mohou použít až 4 druhy kódových schémat a to v závislosti na odstupu signál/rušení, tedy tzv. C/I tak, aby byl zajištěn co nejlepší a nejefektivnější přenos dat. Značíme je CS-1 až CS-4 viz tabulka 6. Mobilní stanice musí podporovat vždy všechna čtyři kódová schémata, při reálném přenosu ovšem záleží také na technologii základnové stanice. [11, 13]

Jednotlivé mobilní stanice dále zařazujeme do číselných tříd, viz tabulka 7.

Třída	Maximální počet slotů		
	Rx	Tx	Celkem
1	1	1	2
2	2	1	3
3	2	2	3
4	3	1	4
5	2	2	4
6	3	2	4
7	3	3	4
8	4	1	5
9	3	2	5
10	4	2	5
11	4	3	5
12	4	4	5
32	5	3	6

Tabulka 7: Třídy GPRS.

Řazení do tříd se určuje podle těchto parametrů:

- Maximální počet časových slotů v příchozím směru, které může mobilní stanice použít v jednom TDMA rámci.
- Maximální počet časových slotů v odchozím směru, které může mobilní stanice použít v jednom TDMA rámci.
- Celkový počet časových slotů, které může mobilní stanice použít v jednom TDMA rámci.
- Čas, který potřebuje mobilní stanice, pro prověření úrovně signálu okolních buněk včetně doby přípravy k vysílání (T_{ta}).
- Čas, který potřebuje mobilní stanice, pro přípravu k vysílání (T_{tb}).
- Čas, který potřebuje mobilní stanice, pro prověření úrovně signálu okolních buněk včetně doby přípravy k přijímání (T_{ra}).
- Čas, který potřebuje mobilní stanice, pro přípravu k přijímání (T_{rb}).
- Schopnost mobilní stanice vysílat a přijímat v jednom okamžiku.

Nejužívanější konfigurace v praxi je třída 10, což je zpravidla maximální konfigurace podporovaná sítí. Podle převažujícího směru dat se v reálném čase mění konfigurace logických kanálů ze 4+1 na 3+2, viz tabulka 8.

Převažující směr provozu	Konfigurace GPRS služby	Maximální rychlost download, CS-4 [kbit.s ⁻¹]	Maximální rychlost upload, CS-4 [kbit.s ⁻¹]
K uživateli	4+1	85,6	21,4
Od uživatele	3+2	64,2	42,8

Tab. 8: GPRS třída 10 a její typické konfigurace.

Pokud se blíže podíváme na rádiové rozhraní, tak služba GPRS využívá v jednom okamžiku několik z 8 časových slotů jednoho TDMA rámce. V okruhově orientovaných přenosech GSM je jeden fyzický kanál PCH přiřazen jedné mobilní stanici po celou dobu hovoru či datového přenosu formou CSD, jde o kanál s označením C_nT_m , $n=0,1, \dots, x$; $m=0, 1, \dots, 7$, stanici je přiřazen směr downlink i uplink.

Služba GPRS umožňuje mnohem flexibilnější způsob přiřazování pro paketové přenosy. Jedna mobilní stanice může vysílat na několika z 8 časových slotů. Počet časových slotů, který je schopna mobilní stanice použít je označován jako třída multislotu. Mimo to jsou směry downlink a uplink přiřazovány samostatně, což šetří zdroje rádiového prostředí při asymetrických přenosech, jako je použití protokolu http (HyperText Transfer Protocol).

Buňka podporující službu GPRS musí přiřazovat fyzické kanály pro provoz služeb GPRS, což jinými slovy znamená, že rádiové zdroje buňky jsou sdílené všemi mobilními stanicemi v buňce a to jak pro GSM tak GPRS služby. Přiřazení fyzických kanálů PCH pro tyto služby je prováděno dynamicky. Fyzický přiřazený přenosu GPRS je označen jako paketový datový kanál PDCH (Packet Data Channel). Počet kanálů PDCH je upravován podle aktuálních požadavků provozu. Je-li počet hovorů GSM malý, je zde mnoho volných časových slotů a ty jsou přiděleny pro použití službě GPRS. Je-li požadavků na hovory GSM naopak mnoho, pak mohou být kanály PDCH stanici odejmuty. Spojení na kanálech PDCH je ustanoveno pouze po dobu přenosu dat, poté je zase ukončeno. Více mobilních stanic, tak může používat jeden kanál PDCH.

Přidělování kanálů řídí uzel BSC. Aby se předešlo kolizím, tak je v síti signalizováno, které kanály jsou právě ve směru downlink dostupné. Ve směru uplink se používá značka USF (Uplink State Flag) v hlavičce paketů směru downlink a ta označuje mobilní stanici, které je povoleno použít daný kanál ve směru uplink.

Po fyzických kanálech PDCH jsou přenášeny logické kanály. Ty se obdobně jako logické kanály základního systému GSM dělí na provozní a signalizační, viz tabulka 9.

Zkratkou PDTCH (Packet Data Traffic Channel) označujeme paketový provozní datový kanál používaný pro přenos užitečných dat. Je přiřazen jedné mobilní stanici (nebo více stanicím v případě služby P2M). Jedna mobilní stanice může použít několik těchto kanálů současně.

Skupina kanálů		Kanál	Popis	Směr
Provozní kanál		PDTCH	Packet Data Traffic Channel Paketový provozní datový kanál	MS <--> BSS
Signalizační kanály	PBCCH	PBCCH	Packet Broadcast Control Channel Vysílací řídicí paketový kanál	MS <-- BSS
	PCCCH	PRACH	Packet Random Access Channel Paketový kanál náhodného přístupu	MS <--> BSS
		PAGCH	Packet Access Grant Channel Paketový kanál povolení přístupu	MS <-- BSS
		PPCH	Packet Paging Channel Vyhledávací paketový kanál	MS <-- BSS
		PNCH	Packet Notification Channel Oznamovací paketový kanál	MS <-- BSS
	PDCCH	PACCH	Packet Associated Control Channel Přiřazený paketový řídicí kanál	MS <--> BSS
		PTCCH	Packet Timing Advance Control Channel Řídicí kanál časového předstihu paketů	MS <--> BSS

Tab. 9: Logické kanály služby GPRS.

Signalizační kanály se naopak dále dělí a to na:

- Vysílací řídicí paketový kanál PBCCH (Packet Broadcast Control Channel) je jednosměrný signalizační kanál typu P2M. Používá subsystémem základnových stanic BSS pro komunikaci s mobilními stanicemi. BSS na tomto kanále informuje všechny mobilní stanice v buňce o GPRS uspořádání sítě. Dále se také odesílají důležité informace pro okruhově orientované služby GSM tak, aby stanice nemusela zároveň poslouchat kanál BCCH.
- Obecný řídicí paketový kanál PCCCH (Packet Common Control Channel) nese signalizační informace pro funkci správy přístupu k síti. Dělí se dále na 4 podkanály:
 - Paketový kanál náhodného přístupu PRACH (Packet Random Access Channel) používaný mobilními stanicemi pro odeslání žádostí o jeden nebo více provozních kanálů PDTCH.
 - Paketový kanál povolení přístupu PAGCH (Packet Access Grant Channel) používaný k přidělení o jednoho nebo více provozních kanálů PDTCH.
 - Vyhledávací paketový kanál PPCH (Packet Paging Channel), který používá subsystém BSS k zjištění pozice mobilní stanice před odesláním paketových dat ve směru downlink.
 - Oznamovací paketový kanál PNCH (Packet Notification Channel) se používá k oznámení příchozího P2M provozu.

- Dedikovaný řídicí paketový kanál PDCCCH (Packet Dedicated Control Channel) je obousměrný P2P signalizační kanál. Obsahuje tyto dva kanály:
 - Přiřazený paketový řídicí kanál PACCH (Packet Associated Control Channel) je vždy přidělen v kombinaci s jedním nebo více provozními kanály PDTCH. Přenáší signalizační informace týkající se konkrétní mobilní stanice, např. řízení výkonu.
 - Řídicí kanál časového předstihu paketů PTCCH (Packet Timing Advance Control Channel) se používá pro adaptivní synchronizaci paketů. Mobilní stanice pošle přes uplink část kanálu PTCCH, označenou jako PTCCH/U, několik přístupových burstů základnové stanici. Ze zpoždění je odvozena správná hodnota časového předstihu TA a jeho hodnota je odeslána přes downlink část stejného kanálu, PTCCH/D, zpět mobilní stanici.

Jednotlivé kanály jsou včetně délky bloku a rychlostí přehledně také v tabulce 10.

Kanál	Potřebná propustnost sítě [kbit.s ⁻¹]	Velikost bloku [bit]	Doba trvání bloku [ms]
PDTCH (CS-1)	9,05	181	-
PDTCH (CS-2)	13,4	268	-
PDTCH (CS-3)	15,6	312	-
PDTCH (CS-4)	21,4	428	-
PACCH	Dynamicky se mění		
PBCCH	s x 181/120	181	120
PAGCH	Dynamicky se mění	181	-
PNCH	Dynamicky se mění	181	-
PPCH	Dynamicky se mění	181	-
PRACH (přístupový burst 8 bitů)	Dynamicky se mění	8	-
PRACH (přístupový burst 11 bitů)	Dynamicky se mění	11	-

Tab. 10: Rychlosti v logických kanálech služby GPRS.

Spolupráce mezi okruhově a paketově orientovanými logickými kanály je možná. Pokud není kapacitně dostupný kanál PCCCH v buňce, pak může GPRS mobilní stanice použít kanál CCCH služby GSM pro zahájení paketového přenosu. Navíc, pokud není kapacitně dostupný vysílací řídicí kanál PBCCH, pak může mobilní stanice obdržet potřebné systémové informace přes kanál BCCH.

Obdobně jako v původní službě GSM, může být pro službu GPRS pouze několik dovolených kombinací logických kanálů. Dovolené kombinace pro multiplexování na fyzickém kanálu jsou v tabulce 11. V tabulce 12 jsou kombinace kanálů, které zohledňují stav mobilní stanice. Kombinace M9 reprezentuje mobilní stanici v pohotovostním módu, kdy čeká na příchozí pakety. Kombinace M10 reprezentuje mobilní stanici v přenosovém módu s několika

provozními kanály, kde n označuje počet obousměrných kanálů PDTCH, m počet jednosměrných kanálů PDTCH a zároveň platí, že: $n = 1, \dots, 8$, $m = 0, \dots, 8$ a $n + m = 1, \dots, 8$.

		kombinace			
		B10	B11	B12	B13
kanály	PDTCH				
	PBCCH				
	PCCCH				
	PACCH				
	PTCCH				

Tabulka 11: Možné kombinace logických kanálů služby GPRS na fyzickém kanálu.

		kombinace	
		M9	M10
kanály	PDTCH		n+m
	PBCCH		
	PCCCH		
	PACCH		
	PTCCH		

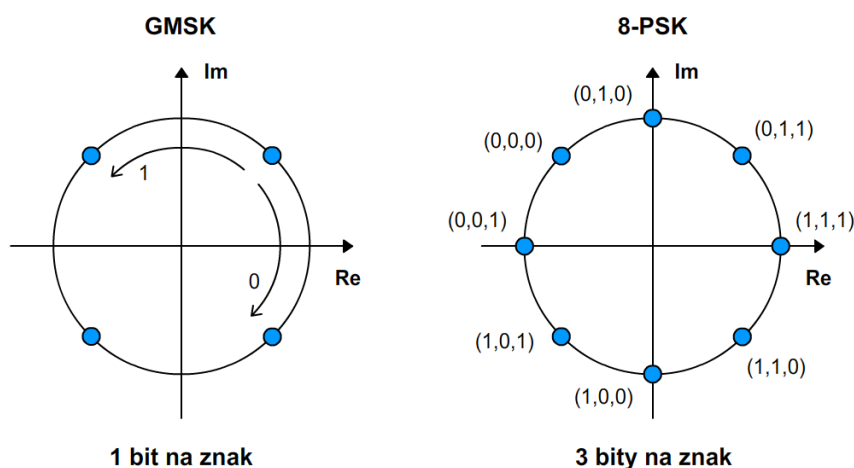
Tabulka 12: Možné kombinace logických kanálů služby GPRS dle stavu mobilní stanice.

4 Digitální síť 2,75. generace

Další vývoj sítě GSM přinesl Release '98. Zlepšena byla podpora QoS (Quality of Service) v subsystému základnových stanic BSS, nově byly zavedeny zprávy MMS, ale hlavně byly specifikovány rychlejší datové přenosy tzv. EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution).

4.1 EDGE

Zatímco HSCSD a GPRS se snaží plně využít dostupné přenosové kanály, případně aplikují nová kódová schémata, tak EDGE jde o krok dále. Na rozdíl od zmíněných datových přenosů nepoužívá pouze modulaci GMSK, ale i osmi stavovou 8-PSK, viz obr. 21. Jeden přenesený symbol tak reprezentuje 3 bity, čímž se až 3 krát navyšuje teoretická přenosová rychlost.



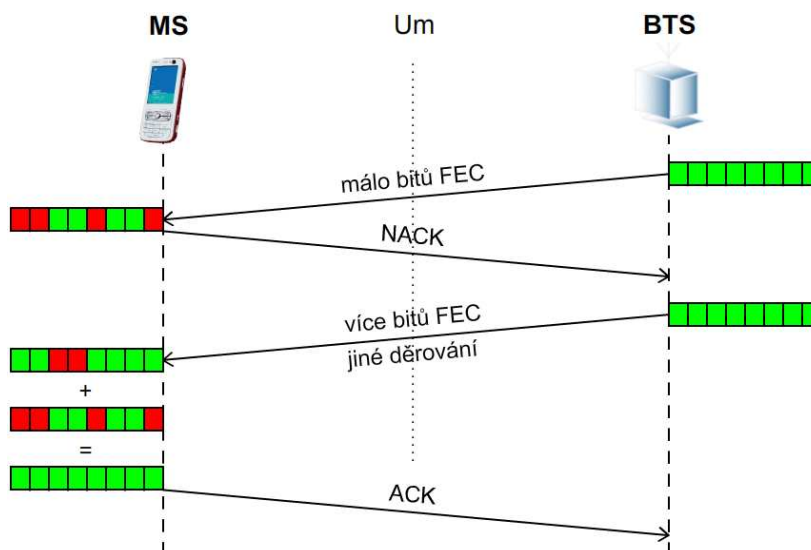
Obr. 21: Modulace GMSK a 8-PSK.

V rámci zachování kompatibility se systémem GSM, je při komunikaci dle EDGE většina parametrů fyzické vrstvy shodná s původní specifikací GSM, tedy odstup nosné 200 kHz a také složení TDMA rámce. Složení burstu je také obdobné, s normálním burstem NB, pouze jsou vypuštěny značky SF, délka uživatelských dat je tedy 2x58 bitů.

EDGE také zavádí, mimo přidání nového typu modulace, změny na rádiové linkové vrstvě řízení přístupu k médiu RLC (Radio Link Control)/MAC (Medium Access Control). Přidány jsou nové procedury optimalizované pro přenosy v paketově orientovaném módu.

Jde v první řadě o techniku kombinování kódu s inkrementální redundancí (nadbytečností), ta je také známá pod názvem HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest). Tato technika pracuje, jak již bylo zmíněno, s daty na linkové vrstvě modelu RM-OSI. V módu inkrementální redundance může být první RLC (Radio Link Control layer) blok odeslán s malým množstvím nebo vůbec žádnými přidanými bity korekce dat, viz obr. 22. Pokud ovšem blok nemůže být rozklíčován správně, pak v následujícím přenosu je přidáno více bitů korekce dat, je aplikováno jiné děrovací schéma (puncturing scheme, děrování je odstranění několika paritních bitů po zakódování korekčním kódem) na stejný RLC blok. Stejně bloky přijaté s různými chybami

jsou ukládány, mohou být totiž použity k vzájemnému zkombinování, dokud není RLC blok dekódován správně.



Obr. 22: schéma HARQ.

Pak také o tzv. pooling, což je mechanismus, kdy paketová řídicí jednotka PCU (Packet Control Unit) požaduje po mobilní stanici odeslání informací o podmínkách ve směru download a o úspěšně přijatých RLC blocích. Pooling je součástí výběrového mechanismu ARQ (Automatic Repeat Request), kdy jsou opět posílány špatně přijaté RLC bloky.

A dále je jde o procedury segmentace k podpoře opětovných přenosů s jinými kódovacími schémata, nezávislé kódování RLC/MAC hlaviček a zvětšené okno potvrzení přijetí ACK/NACK. Více o všech těchto mechanismech lze nalézt v [5].

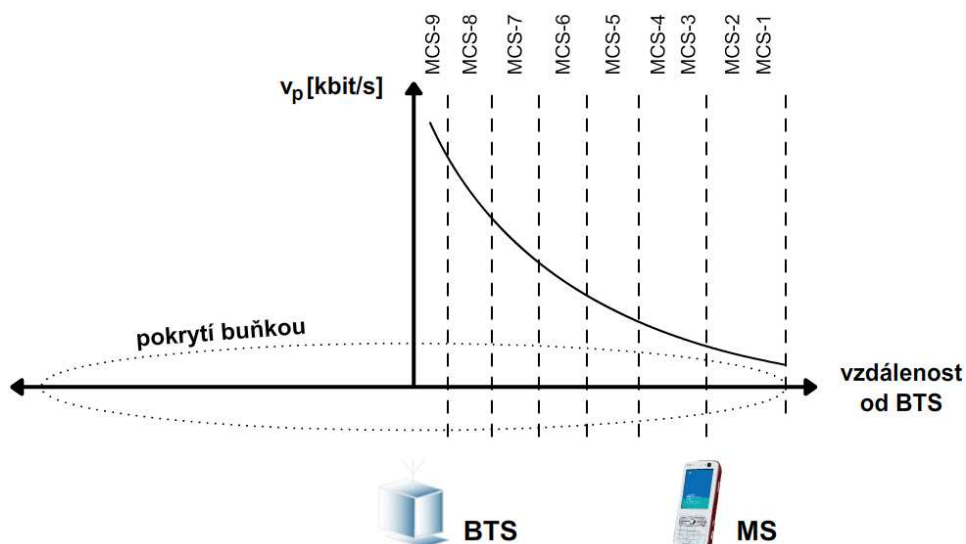
4.1.1 EGPRS

Aplikací technik EGDE na paketové přenosy GPRS vzniklo tzv. vylepšené GPRS (Enhanced GPRS), zkráceně EGPRS.

Bylo nadefinováno 9 modulačních a kódových schémat MCS (Modulation and Coding Scheme) kombinující nastavení jednotlivých parametrů podle aktuální kvality rádiového spojení, viz tabulka 13 a obrázek 23. Nová kódová schémata využívající stávající modulaci GMSK (MCS-1 – MCS-4) jsou odlišná od kódových schémat CS-1 – CS-2 systému GPRS a to kvůli podpoře inkrementální redundance HARQ. EGPRS tedy podporuje přenosovou rychlost jednoho provozního kanálu téměř 64 kbit.s^{-1} . To koliduje s původní specifikací systému GSM a rozhraní Abis, které podporuje jen 16 kbit.s^{-1} . EGPRS tedy, rovněž jako GPRS s kanálovým kódováním CS-3 a CS-4, vyžaduje přidělení několika slotů rozhraní Abis jednomu provoznímu kanálu. Rozhraní A, mezi uzlem BSC a ústřednou MSC je založeno na multiplexu z 64 kbit.s^{-1} slotů a proto zde nedochází k problémům a nutným změnám, další rozhraní také nejsou dotčena. [5, 11]

Kódové schéma	Kódový poměr	Modulace	Přenosová rychlost na časový slot [kbit.s ⁻¹]	Referenční hranice (BLER<10%)	
				BTS [dBm]	MS [dBm]
MCS-1	0,53	GMSK	8,8	-103	-103
MCS-2	0,66	GMSK	11,2	-101	-101
MCS-3	0,85	GMSK	14,8	-96,5	-96,5
MCS-4	1	GMSK	17,6	-91	-91
MCS-5	0,37	8-PSK	22,4	-97	-94
MCS-6	0,49	8-PSK	29,6	-94,5	-91,5
MCS-7	0,76	8-PSK	44,8	-88,5	-84
MCS-8	0,92	8-PSK	54,4	-84	-83 (BLER<30%)
MCS-9	1	8-PSK	59,2	-80	-78,5 (BLER<30%)

Tabulka 13: Přenosové módy EGPRS (BLER – Block Error Rate).



Obr. 23: Kódová schémata a pozice MS v buňce.

Třídy EGPRS jsou shodné s třídami systému GPRS, viz tabulka 7, a obdobně jako u služby GPRS je i v EGPRS nejužívanější konfigurace v praxi třída 10. Díky odlišnému způsobu modulace dochází při příznivých podmínkách ke značnému navýšení teoretických rychlostí, viz tabulka 14.

Převažující směr provozu	Konfigurace GPRS služby	Maximální rychlost download, MCS-9 [kbit.s ⁻¹]	Maximální rychlost upload, MCS-9 [kbit.s ⁻¹]
K uživateli	4+1	236,8	59,2
Od uživatele	3+2	177,6	118,4

Tabulka 14: EGPRS třída 10 a její typické konfigurace.

4.1.2 ECSD

Spojení pomocí ECSD používá jako základ původní HSCSD. Uživatelská přenosová rychlost není navýšena (kvůli omezení na rozhraní A), ale může být dosažena s menším množstvím časových slotů a jednodušší implementací v mobilní stanici. Vyšší přenosové rychlosti jsou definovány jak pro transparentní, tak i pro netransparentní služby.

Obecné signalizační kanály stejně jako dedikované a přidružené řídicí kanály jsou shodné s jinými okruhově orientovanými službami, odlišný je pouze rychlý přidružený řídicí kanál pro ECSD tzv. FACCH/E (Fast Associated Control CHannel/ECSD), který používá modulaci GMSK a je obdélníkově prokládán ve čtyřech po sobě jdoucích TDMA časových slotech. Je odesílán společně s užitečnými daty, modulovanými nově modulací 8-PSK, a jeho detekce mezi je čistě na bázi slepého rozpoznání 4 časových slotů přijatých s modulací GMSK, které jsou poté identifikovány jako FACCH/E. Jednotlivé typy provozních kanálů lze vidět v tabulce 15.

Kanálový název	Kódový poměr	Modulace	Přenosová rychlost na časový slot [kbit.s ⁻¹]
TCH/F28.8	0,42	8-PSK	28,8
TCH/F32.0	0,46	8-PSK	32
TCH/F43.2	0,56	8-PSK	43,2

Tabulka 15: Provozní kanály ECSD.

Kanál E-TCH/F28.8 je dostupný pro transparentní i netransparentní služby pro jedno slotovou i více slotovou konfiguraci. Kanál E-TCH/F32.0 je dostupný pouze ve více slotové konfiguraci (dvou slotové) a může být použit k nabídnutí transparentní služby 64 kbit.s⁻¹, zatímco kanál E-TCH/F43.2 je dostupný pouze pro netransparentní službu.

4.2 EDGE Compact

Release '98 také zavádí novou specifikaci služby EGDE, která nevyžaduje typickou konfiguraci tří-sektorových buněk ve čtverném svazku buněk, ale vystačí s tří-sektorovou buňkou, která tvoří svazek sama o sobě. To umožní použít místo 12 různých kanálů pouze 3 opakující se kanály, tedy pouze pásmo 600 kHz. Tato konfigurace sice není vhodná pro hlasové služby, které z principu nemohou podporovat opakované přeposílání dat, ale datovým službám plně vyhovuje. Řídicí kanály ovšem požadují původní odstup signálu od šumu C/I a proto jsou buňky rozděleny tří různých časových skupin a mobilní stanice přistupuje k řídicím kanálům pouze v určeném čase, dle příslušnosti buňky k časové skupině, což vyžaduje dodatečnou synchronizaci.

5 Multimediální síť 3. generace

Druhá generace mobilních sítí plně naplnila svou původní filozofii. Počet uživatelů se dostal na stovky, ba tisíce násobné počty uživatelů analogových sítí. Postupná masovost v užívání mobilních sítí přinášela zvyšování výroby produktů a zařízení v této technologické oblasti, to vedlo ke snížení cen a ve výsledku tedy uzavíralo kruh a opět zvyšovalo množství uživatelů, kteří si mohli užívání mobilních služeb dovolit.

Hlasové služby zvýšily svou hovorovou kvalitu a roaming, toliko omílaný problém analogových sítí, se stal samozřejmostí. Od nekomfortního zpětného vytáčení dospěl až k běžnému přímému volání.

Zvyšoval se také i zájem o mobilní služby svázané s přenosem dat. Zprvu nabízený tzv. WAP (Wireless Application Protocol) zdaleka nedosáhl očekávání, do něj vkládaných, a téměř upadl v zapomnění do doby svého znovuzrození službami typu Vodafone Live! či T-Mobile T-Zones. Základem financování služeb byly na počátku platby za GPRS spojení využívané protokolem WAP, které byly vyšší, než pokud uživatel použil GPRS spojení k přístupu k e-mailové schránce či webové adrese. Od této tarifikace se nakonec ustoupilo a platby za výše zmíněné proprietární služby nakonec byly pouze za obsah z nich stažený a ne za data, přenesená během jejich používání.

Se zvyšováním zájmu o datové přenosy se hledaly cesty, jak zvýšit objem přenesených dat ve stávající síti. V síti GSM se tento problém snaží řešit technologie EDGE, viz kapitola 4.1.

Nedostatkem sítí druhé generace byla stále nedostatečná přenositelnost, konkrétně odlišnost digitálních sítí evropských, amerických a japonských. Specifikace jednotného standardu, stejně jako specifikace rychlejších datových přenosů a aplikace IP protokolu, se staly hlavními předpoklady mobilních sítí třetí generace (3G).

Protože však, vzhledem k počtu zákazníků a množství technologie, nelze síť 2G ponechat v provozu, spustit odlišnou síť generace třetí a počkat na samovolný přechod zákazníků, jako tomu bylo v dobách přechodu od sítí 1G k sítím 2G, tak musely standardy sítě 3G vycházet vždy z již spuštěných sítí druhé generace. Ty však byly vzájemně tak odlišné, že se původně plánovaný jednotný standard sítě 3G, zvaný IMT-2000 (International Mobile Telephony - 2000) organizace ITU-T, rozpadl na celou rodinu standardů 3G. V Evropě šlo o síť UMTS.

5.1 Síť UMTS

Je evropskou formou sítě 3G vyvíjenou nejprve organizací ETSI, konkrétně vývoj GSM části. Poté vývoj plně přešel pod partnerský projekt 3GPP (3rd Generation Partnership Project) standardizačních organizací států Evropy, Japonska, Severní Ameriky a Jižní Koreje. Standardizační proces lze blíže najít v [14].

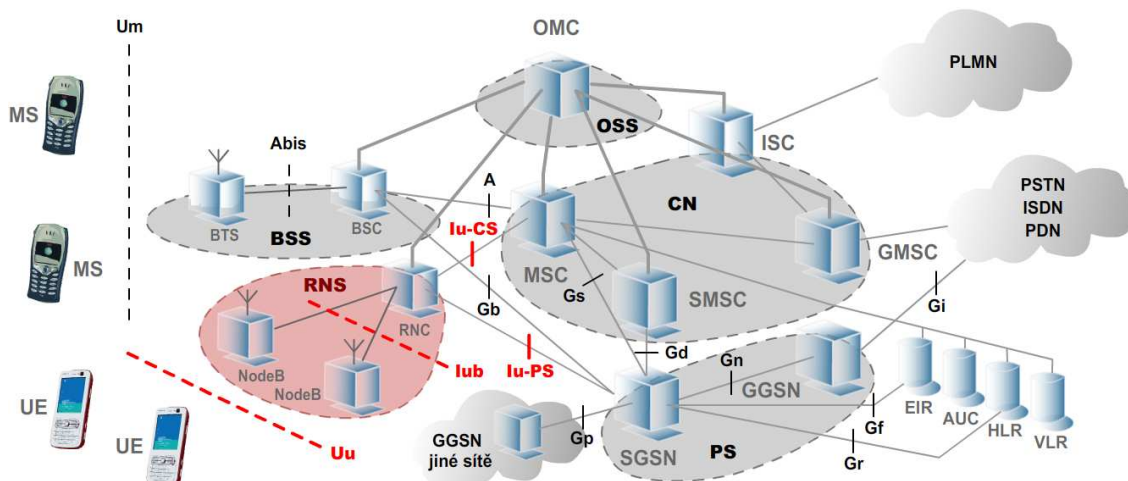
Pro téma datových přenosů jsou důležité specifikace vzniklé v prvním vydání tzv. release, celým označením Release '99 (také známé jako Release 3). Tato specifikace zakládala na:

- Definování nové přístupové sítě UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) včetně nových prvků a rozhraní,
- minimalizování změn v páteřní síti,
- vytvoření vyspělého rozhraní mezi těmito částmi sítě,
- podpora rychlých datových přenosů a pokročilých služeb,
- postupný přechod k aplikaci IP protokolu v síti,
- integrace stávajících služeb sítě GSM.

5.1.1 Architektura systému UMTS

Systém UMTS vychází ze systému GSM, základní dělení sítě zůstalo shodné, došlo pouze k odlišnému pojmenování jednotlivých částí. Přístupová síť se nazývá UTRAN. Do ní spadá mobilní stanice UE (User Equipment) připojená k základnové stanici, tzv uzlu B (Node B) přes rádiové rozhraní Uu. Základnová stanice Node B je připojena ke kontroléru RNC (Radio Network Controller) přes rozhraní Iub. Řídící kontrolér RNC a jím ovládané stanice Node B dohromady tvoří rádiový subsystém RNS (Radio Network Subsystem). Rádiová přístupová síť je spojena s páteřní sítí CN (Core Network) přes rozhraní Iu, které umožňuje okruhově orientované přenosy CS, paketově orientované přenosy PS a celoplošné přenosy BC.

Architekturu a vzájemné propojení systému UMTS a systému GSM 2,5G lze vidět na obrázku 24.



Obr. 24: Integrace systémů GSM a UMTS.

5.1.2 Parametry systému UMTS

Konkrétní vzniklé technické parametry (aplikované pro oblast Evropy) tedy vypadaly:

- Metoda mnohonásobného přístupu CDMA (Code Division Multiple Access, kdy jednotliví uživatelé vysílají na stejné frekvenci, ale jsou od sebe odděleni unikátním kódem, a to ve dvou formách,

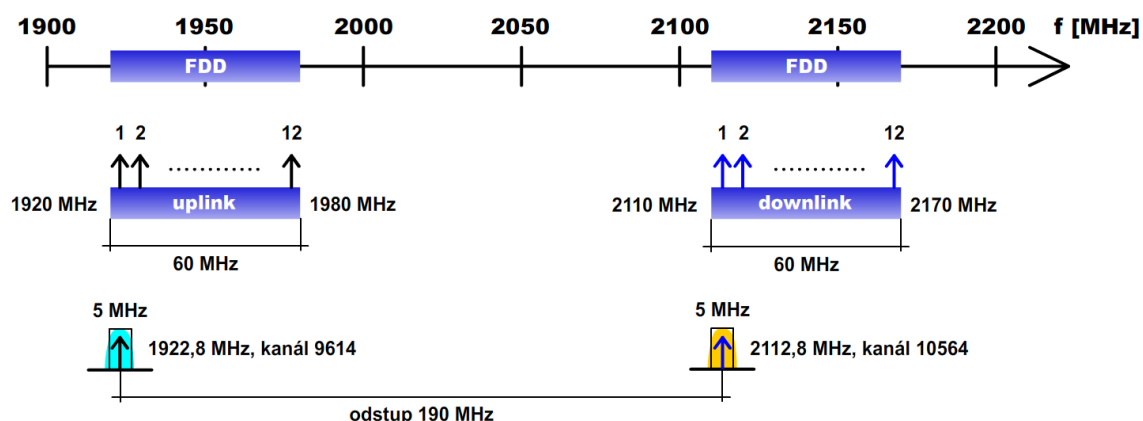
- širokopásmové W-CDMA (Wideband CDMA), tedy tzv. UMTS-FDD, kde je odchozí a příchozí směr provozu oddělen frekvenčně,
- časově dělené TD-CDMA (Time Division CDMA), tedy tzv. UMTS-TDD, kde je odchozí a příchozí směr provozu oddělen časově,
- šířka společného kanálu 5 MHz, frekvenční pásma dle použité formy UMTS,
- vysílací výkon uživatelských stanic je rozčleněn do výkonových tříd (power class):
 - třída 1 +33 dBm = 2 W,
 - třída 2 +27 dBm = 500 mW,
 - třída 3 +24 dBm = 250 mW,
 - třída 4 +21 dBm = 125 mW,

přičemž systém umožňuje až 1500 příkazů změny vysílacího výkonu za sekundu v krocích 1, 2 nebo 3 dB v závislosti na nastavení mobilní stanice, typicky jde o hodnoty nižší, okolo 40 mW,

- síť je plně digitální, duplexní a používá QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying) modulaci,
- bezpečnost komunikace je zaručena prvotní autentifikací uživatele, integrita signalizačních dat je zaručena algoritmem dohodnutým mezi mobilní stanicí a sítí, provozní data mezi mobilní stanicí a sítí jsou šifrována, šifrována jsou také data přenášená mezi jednotlivými prvky sítě, pro zahájení, modifikaci či ukončení videohovoru, videokonference nebo streamovaného přenosu je použit SIP (Session Initiation Protocol) protokol,
- typická velikost buňky UMTS-FDD do 10 km, teoreticky až 100 km, u buňky UMTS-TDD je principiální velikost při širokopásmovém kanálu ($3,84 \text{ Mc.s}^{-1}$) pouze 3,75 km a při použití úzkopásmového kanálu ($1,28 \text{ Mc.s}^{-1}$) 3x více, tedy okolo 11 km,
- handover v systému UMTS je definován v několika podobách:
 - tvrdý – při změně vysílací frekvence, může být bezešvý nebo ne, tedy pro uživatele buďto nezachytitelný nebo naopak ano,
 - měkký – který zde významově značí přidání či odebrání rádiového spojení konceptu makrodiversity, tedy příjmu několika základnovými stanicemi současně, vždy je udržováno alespoň jedno rádiové spojení,
 - měkký – kdy jde o speciální případ měkkého handoveru a rádiová spojení jsou přidána nebo odebrána v rámci jedné základnové stanice.

5.1.3 UMTS-FDD

Jde o nejužívanější způsob sítě UMTS. Systém UMTS FDD využívá dvě párová pásma o šířce 60 MHz na frekvencích 1920-1980 MHz pro směr od uživatele, tzv. uplink a druhé pásmo 2110-2170 MHz pro směr k uživateli, tzv. downlink, viz obr. 25. Jeden společný frekvenční kanál má šířku 5 MHz, existuje tedy 12 párových kanálů s odstupem 190 MHz. Každý frekvenční kanál je označen unikátním číslem UARFCN (UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number).



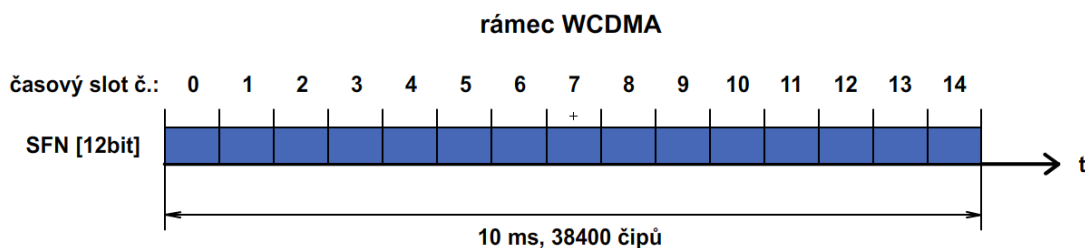
Obr. 25: Frekvenční dělení v síti UMTS FDD.

Vysílaný signál je, na rozdíl od systémů FDMA/TDMA, rozprostřen pomocí rozprostíracích kódů s proměnným činitelem SF (Spreading Factor) měněným v závislosti na množství přenášených dat, do celého spektra kanálu. Zavádí se pojem čip (chip), což je obdélníkový puls, který zabírá celou šířku pásma. Čipová rychlost frekvenčního 5 MHz kanálu sítě UMTS je $3,84 \text{ Mc.s}^{-1}$. Proces rozprostírání funguje tak, že je každý jednotlivý bit určený k přenosu nejprve nahrazen určitou početnější sekvencí bitů, tzv. čipů. Tyto sekvence mají nejčastěji pseudonáhodný charakter. Pro jejich vytváření se využívají například Goldovy či Barkerovy kódy. Tato sekvence bitů je modulována na nosný signál a skutečně přenášena. Ve své podstatě jde tedy o umělé zavedení nadbytečnosti. Signál je rozprostřen do větší části radiového spektra a tím je méně citlivý vůči rušení, což zvyšuje spolehlivost přenosu. Vysílaný signál se ostatním uživatelům jeví jako náhodný šum a bez znalosti mechanismu vytváření původní pseudonáhodné sekvence, je pro ně obtížné zpět získat přenášená data. Při dekódování se použije původní pseudonáhodný rozprostírací signál a kombinací s přijatým signálem se zpět dostane původní datový tok.

Další parametry a principy týkající se fungování metody mnohonásobného přístupu CDMA jako parametr rozprostření a dalších funkcí systému UMTS lze nalézt v [14].

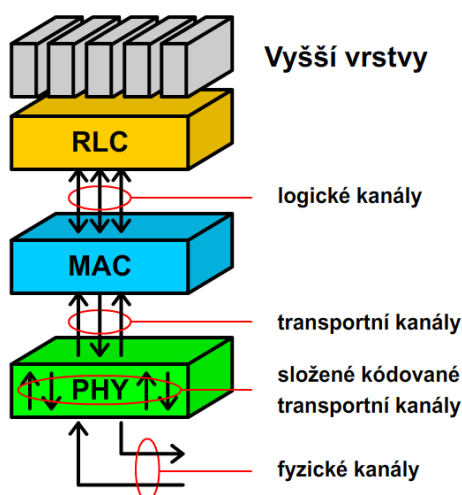
Základní přenosovou jednotkou v síti UMTS je rámec s celkovou délkou trvání 10 ms a datovou rychlostí 38 400 čipů, viz obr. 26. Rámec se dělí na 15 slotů s délkou trvání 0,667 ms a rychlostí 2560 čipů. Na rozdíl od systému GSM zde neexistuje žádné další strukturování do multi či hyper rámců, ale každý rámec má své systémové 12 bitové číslo SFN (System Frame

Number), které se používá k interní synchronizaci v přístupové síti UTRAN a k časování přenosů informace na logickém řídicím kanálu BCCH.



Obr. 26: Rámec WCDMA.

Struktura mapování dat do jednotlivých vrstev je následovná. Data 4. vrstvy modelu RM-OSI jsou nejprve namapována do logických kanálů obdobně jako u systému GSM. Nově se objevují tzv. transportní kanály, do kterých vstupují logické kanály. Transportní kanály jsou kanálově kódovány a multiplexovány do tzv. složených kódovaných transportních kanálů CCTrCH (Coded Composite Transport Channels), které mají bitovou rychlost přizpůsobenu celkové bitové rychlosti fyzického kanálu. Kanály CCTrCH jsou poté namapovány do jednotlivých fyzických kanálů. Tento proces lze souhrnně vidět na obrázku 27.



Obr. 27: Kanálová struktura systému UMTS.

Logické kanály

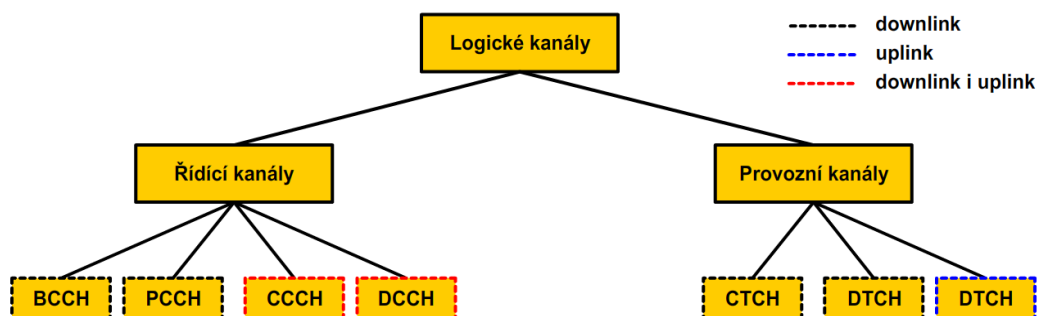
Logické kanály rozeznáváme mezi 4. vrstvou a vrstvou MAC (Media Access Control Layer), jde o vrstvu starající se o řazení datového provozu na rádiovém rozhraní v závislosti na nastavených parametrech vyšší vrstvy. Logické kanály jsou struktury, které vznikají a zanikají podle aktuálních požadavků sítě. Rozeznáváme jednosměrné nebo obousměrné a dělíme je na dvě skupiny, viz obr. 28.

První skupinou jsou řídicí kanály (Control Channels), nejprve jednosměrné ve směru downlink:

- vysílací řídicí kanál BCCH – obdobně jako v systému GSM jsou po tomto kanálu vysílány informace mobilní stanici o prostředí, ve kterém se nachází, konkrétně jde např. o kód aktuální buňky a buněk okolních, dovolený vysílací výkon apod.
- vyhledávací řídicí kanál PCCH (Paging Control Channel) – i v tomto případě jde o obdobný kanál se sítí GSM, jehož úkolem je přenášet informace k přesné lokalizaci mobilní stanice UE,

a také obousměrné řídicí kanály:

- společný řídicí kanál CCCH – společný pro všechny mobilní stanice UE v buňce a používaný sítí k odeslání informace významné pro všechny stanice. Případně k odeslání informace konkrétní UE před iniciací kanálu DCCH. Jelikož je obousměrný a zároveň jej může ve zpětném směru využívat několik UE současně, jsou jednotlivé UE odlišené unikátní identifikací U-RNTI (UTRAN Radio Network Temporary Identity),
- dedikovaný řídicí kanál DCCH – používaný pro samostatný vyhrazený obousměrný přenos mezi Node B a UE, např. při připojení UE do sítě.



Obr. 28: Logické kanály a jejich dělení.

Druhou skupinu tvoří provozní kanály (Traffic Channels):

- společný provozní kanál CTCH (Common Traffic Channel) – jednosměrný kanál ve směru downlink typu P2M používaný k vysílání všem nebo pouze konkrétní skupině UE v buňce,
- dedikovaný provozní kanál DTCH (Dedicated Traffic Channel) – jednosměrný kanál pro spojení typu P2P, ustavený buď stanicí Node B pro směr downlink nebo UE pro směr uplink, sloužící k přenosu uživatelských informací mezi základnovou a mobilní stanicí.

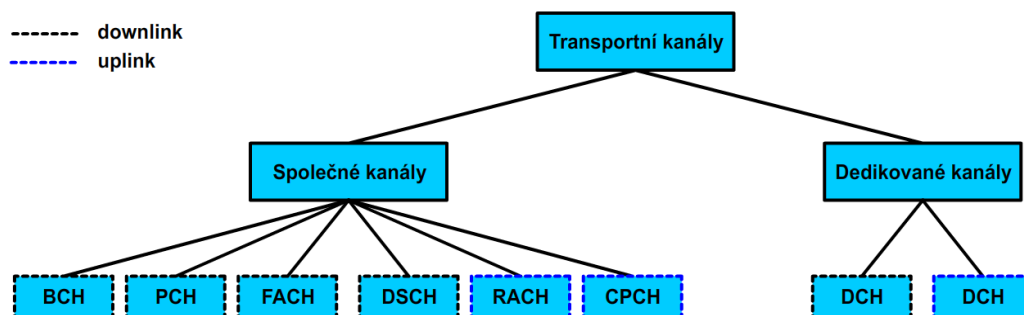
Transportní kanály

Jednotlivé logické kanály se mapují do transportních kanálů. Ty zprostředkovávají provoz mezi MAC a fyzickou vrstvou, jsou jednosměrné, ustavené ve směru downlink či uplink dle

potřeby. Nedělí se na řídicí a provozní, ale na společné a dedikované jediné mobilní stanici, viz obr. 29.

Mezi společné transportní kanály ve směru downlink patří:

- vysílací kanál BCH – který přenáší systémové informace kanálu BCCH vysílané v buňce. UE musí být schopna dekódovat tento kanál k registraci do sítě. Je vysílán s relativně vysokým výkonem tak, aby jej zachytila každá stanice v buňce pokrytém prostředím,
- vyhledávací kanál PCH – přenáší informace v kanálu PCCH a je použit, pokud si síť přeje zřídit spojení s určitou UE,
- dopředný přístupový kanál FACH (Forward Access Channel) – tento kanál přenáší informaci mobilní stanici UE o které ví, že se nachází v buňce. Po tomto kanále je například přenášena odpověď od řídicího uzlu RNC po tom, co obdrží náhodným přístupem informaci od UE, FACH může také přenášet paketový provoz ve směru downlink. Jedna buňka může obsahovat mnoho FACH kanálů, ovšem jeden je nastaven vždy tak, aby jej byly schopny přijmout všechny UE v oblasti pokrytí buňky,
- sdílený kanál ve směru downlink DSCH (Downlink Shared Channel) – tento kanál přenáší paketový provoz, který může sdílet několik uživatelů zároveň, čímž šetří přenosové prostředky.



Obr. 29: Transportní kanály a jejich dělení.

Mezi společné transportní kanály ve směru uplink patří:

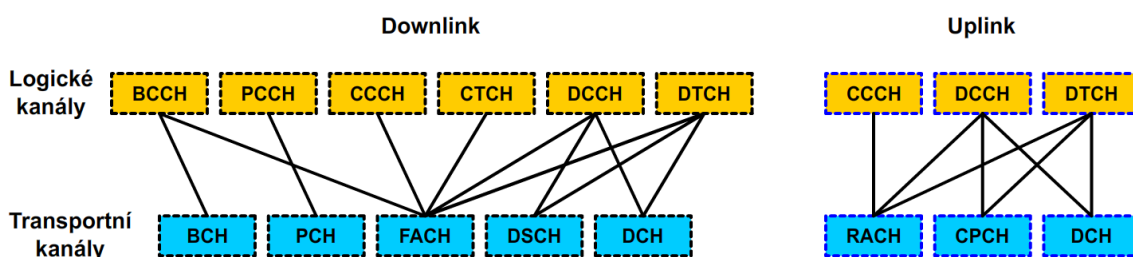
- kanál s náhodným přístupem RACH – přenáší řídicí informace od UE do přístupové sítě UTRAN jako např. požadavky o sestavení hovoru. Tento kanál také může nést malé množství paketových přenosů dat. Je využíván všemi UE a je zde tedy velká pravděpodobnost kolize. Parametry tohoto kanálu se přenáší v systémových informacích kanálu BCH,
- společný paketový kanál CPCH (Common Packet Channel) – využíváný pro odchozí paketový provoz, je zamýšlen jako rozšíření kanálu RACH a jeho downlink opozitem je kanál FACH.

Mezi dedikované transportní kanály patří:

- dedikovaný kanál DCH (Dedicated Channel) – ten může být zřízen ve směru downlink nebo uplink. Přenáší dedikovaný provoz a řídicí informace logických kanálů DCCH a DTCH. V závislosti na situaci může jeden kanál DCH nést několik kanálů DTCH, například pokud uživatel zároveň užívá hlasový hovorový kanál a jiný video hovorový kanál, pak každý vyžaduje samostatný DTCH kanál, oba však používají stejný DCH kanál.

Z pohledu sítě je snaha o čím jak nejvyšší využívání společných transportních kanálů, neboť dedikované kanály zbytečně zabírají rádiové zdroje.

MAC spojová vrstva transformuje logické kanály na transportní, viz obr. 30 a přenáší je do fyzické vrstvy. Samotná procedura mapování neprobíhá pouhým enkapsulačním procesem daného logického kanálu kanálem transportním, ale podle podmínek daných pozicí UE v buňce, požadovanou službou, množstvím přenášených dat, apod. Transportní kanály jsou určeny obslužným řídicím uzlem SRNC (Serving RNC) na základě vyhodnocení přenosové rychlosti, interferencí, apod.



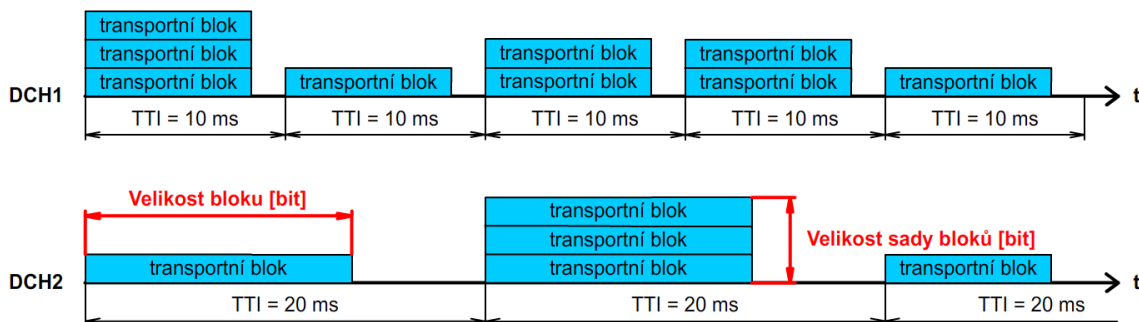
Obr. 30: Mapování logických a transportních kanálů sítě UMTS.

Dedikované kanály DCH pracují pouze s metodou CDMA, zatímco kanál CPCH k přidělení zdrojů čistě tohoto kanálu jednotlivým uživatelům navíc využívá časové dělení TDMA. Při použití kanálu CPCH je tedy nutný pouze jeden ortogonální rozprostírací kód pro všechny uživatele. Časový interval v přidělování kanálu jednotlivým uživatelům přímo závisí na jejich počtu a překročí-li určitou hodnotu, pak je uživateli přidělen dedikovaný kanál. Dedikované kanály DCH mají vyšší přenosovou rychlost a menší zpoždění, ale čím více je uživatelů s DCH kanálem, tím vyšší je úroveň interferencí v buňce a výsledná přenosová rychlost klesá.

Část transportních kanálů je před vstupem do fyzické vrstvy kanálově kódována a jsou dále multiplexovány. K účastníkovi tak lze současně přenášet různé transportní kanály, tedy různé služby.

Data mezi spojovou MAC vrstvou a fyzickou vrstvou jsou přenášena v tzv. transportních blocích (transportation block). Nový transportní blok (nebo skupina bloků) je generován v MAC vrstvě každých 10 ms. Blok se přenáší vždy v jednom směru uplink nebo downlink. Proměnné přenosové rychlosti se dosahuje přenosem několika transportních bloků (sady) v jednom transportním kanálu a jednom timeslotu současně. Dobu příchodu dvou transportních bloků

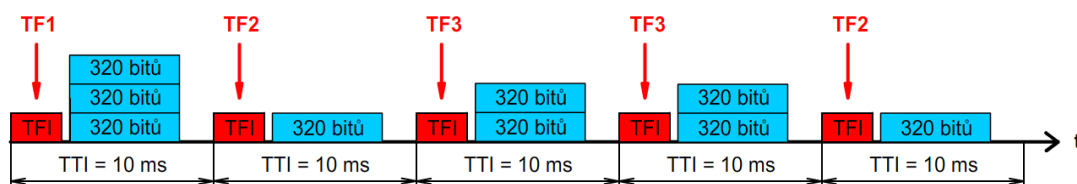
(sady) mezi 1. a 2. vrstvou definujeme jako přenosový interval TTI (Time Transmission Interval), který nabývá hodnot 10, 20, 40 nebo 80 ms. Názorně viz obr. 31.



Obr. 31: Možnosti přenosu v dedikovaných kanálech.

Údaje o množství dat v sadě transportních bloků a jejich zpracování udává přenosový formát TF (Transportation Format). Ten se skládá ze semistatické a dynamické části. Dynamická část nese údaje o velikosti transportního bloku a velikosti celé sady transportních bloků, ta je vždy celočíselným násobkem velikosti transportních bloků a tím je určena přenosová rychlost v transportním kanálu. Semistatická udává dobu trvání TTI, použité opravné schéma FEC a velikost kontrolního součtu CRC (Cyclic Redundancy Check). MAC vrstva zpracovává pouze dobu trvání TTI a další údaje - schéma FEC a CRC - jsou relevantní pro procedury fyzické vrstvy jako kanálové kódování a řízení QoS. Přenášená informace tedy vypadá dle popisu v obrázku 32.

Indikátor TFI (Transport Format Indicator), který je součástí přenášeného bloku TTI, pak indikuje, který transportní formát je používán a jak vypadá přenášený transportní blok. Formát se může měnit v každém intervalu TTI, čímž lze měnit přenosovou rychlost.



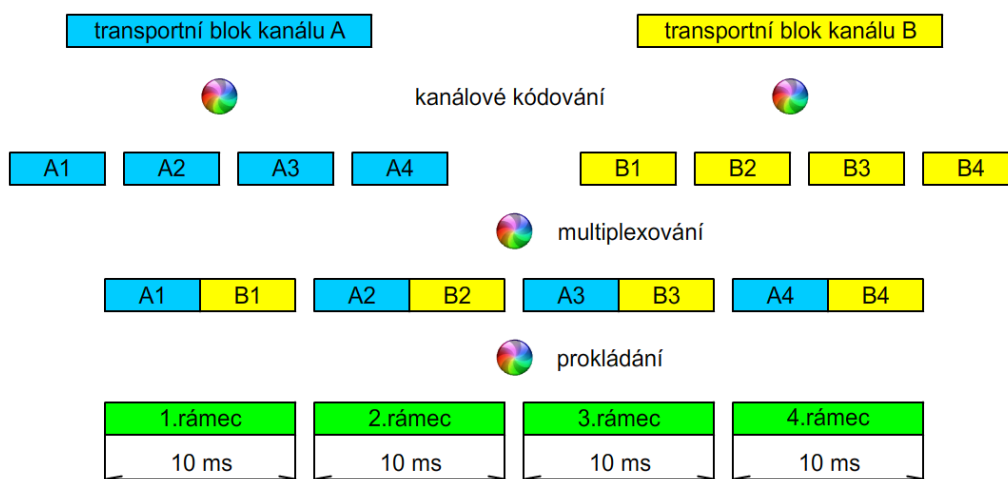
TF1 (dynamic [320 b; 960 b], semistatic [10 ms; FEC schéma; CRC])

TF2 (dynamic [320 b; 320 b], semistatic [10 ms; FEC schéma; CRC])

TF3 (dynamic [320 b; 640 b], semistatic [10 ms; FEC schéma; CRC])

Obr. 32: Indikace formátu přenášených dat.

Transportní kanály jsou kanálově kódovány (řetězení bloků, turbokódování, prokládání, segmentace, přizpůsobení bitové rychlosti) a vzniklé kódované transportní kanály jsou vzájemně multiplexovány, opět prokládány a vznikají složené kódované transportní kanály CCTrCH, viz obr. 33.



Obr. 33: Indikace formátu přenášených dat.

Fyzické kanály

Jednotlivé fyzické kanály opět dělíme na společné a dedikované, viz obr.34. Fyzické kanály přejímají vlastnosti vznikající z požadavků kladených na jimi přenášené jednotlivé transportní kanály.

Mezi společné fyzické kanály ve směru downlink patří:

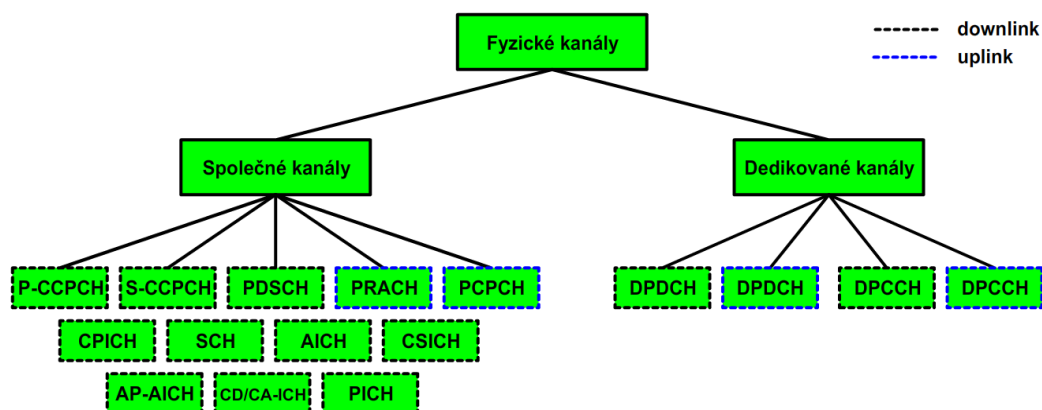
- primární společný řídicí fyzický kanál P-CCPCH (Primary Common Control Physical Channel, který se používá pro přenos transportního vysílacího kanálu BCH s konstantní bitovou rychlostí 30 kbit.s^{-1} s činitelem rozptřeni 256,
- sekundární společný řídicí fyzický kanál S-CCPCH (Secondary Common Control Physical Channel), jenž přenáší dva transportní kanály – FACH a PCH, nebo jsou přenášeny každý ve zvláštním kanálu S-CCPCH, v buňce se vysílá vždy minimálně jeden kanál S-CCPCH, datový tok kanálů je proměnný podle systémových požadavků,
- fyzický sdílený downlink kanál PDSCH (Physical Downlink Shared Channel), který přenáší sdílený transportní kanál DSCH. Tento kanál se s pomocí časového multiplexování přenáší s dedikovaným kanálem DPDCH a v síti slouží k řízení rádiových zdrojů (výkon, činitel rozptřeni).

Mezi společné fyzické kanály ve směru uplink patří:

- fyzický kanál s náhodným přístupem PRACH (Physical Random Access Channel) – ten přenáší transportní kanál RACH,
- fyzický společný paketový kanál PCPCH (Physical Common Packet Channel) – je sdílený množstvím uživatelů, neboť přenáší společný transportní kanál CPCH. Může trvat až 64 rámců a používá rychlé řízení výkonu.

Mezi dedikované fyzické kanály spadá:

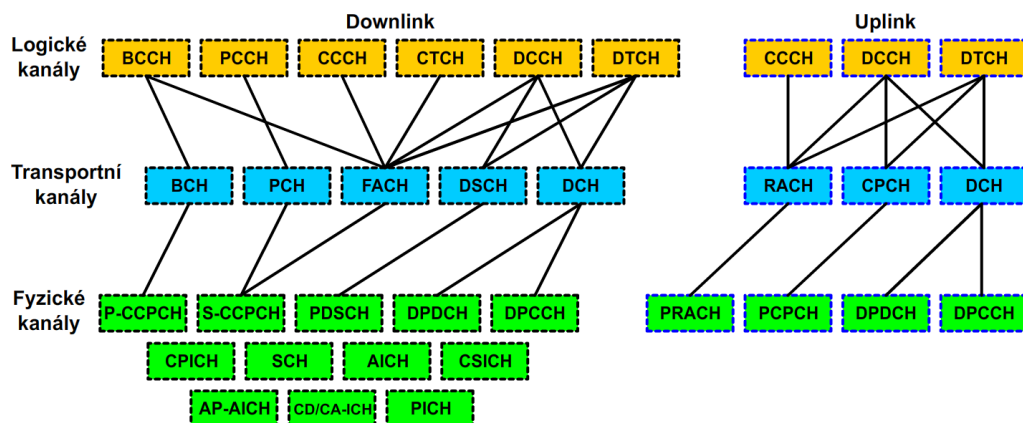
- dedikovaný fyzický datový kanál DPDCH (Dedicated Physical Data Channel), který je určen pro přenos uživatelských dat. Velikost tohoto kanálu je proměnná a může nést několik hovorů či datových spojení. Tato spojení jsou však pouze od jednoho uživatele, protože se jedná o dedikovaný kanál a spojení je ustavováno mezi několika (či jedním) Node B a jedním UE.



Obr. 34: Fyzické kanály a jejich dělení.

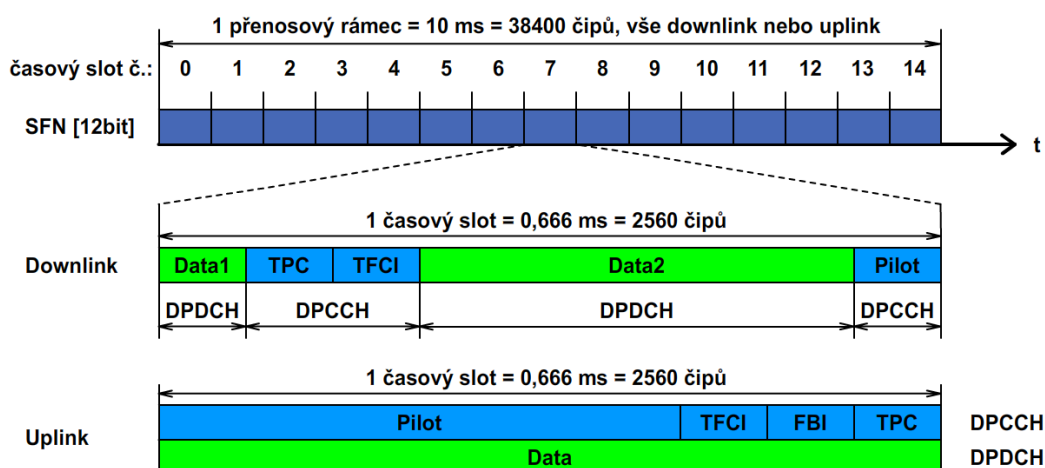
Jmenované kanály přenáší data do vyšších vrstev, dále následují kanály, které slouží pouze pro interní potřeby fyzické vrstvy. Jedná se o společné kanály CPICH, SCH, AICH, CSICH, AP-AICH, CD/CA-ICH, PICH. Z pohledu přenosu dat je významný poslední nejmenovaný tzv. dedikovaný fyzický řídicí kanál DPCCH (Dedicated Physical Control Channel), který je ustavován vždy v páru s dedikovaným kanálem DPDCH a používá se pro přenos informací o stavu fyzické vrstvy pro optimalizaci spojení. [15]

Celkový přehled mapování jednotlivých kanálů lze vidět na obrázku 35.



Obr. 35: Typy kanálů, jejich pozice a mapování v přístupové síti.

Obsah výsledného přenosového rámce se liší podle směru, kterým je přenášén, viz obr. 36.



Obr. 36: Struktura časových slotů směrů downlink a uplink.

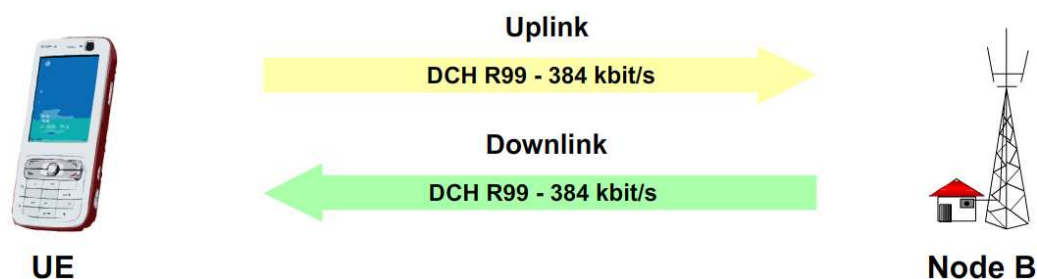
Hlavní rozdíl mezi obsazením časových slotů je, že směr uplink není časovou kombinací kanálů DPDCH a DPCCH, tak jako je tomu v případě směru downlink, ale jsou vysílány současně, každý zakódován svým vlastním rozprostíracím kódem. Pokud se ustaví spojení využívající několik paralelních DPDCH kanálů s různými kódy, pak jsou řízeny pouze jedním kanálem DPCCH.

Kanál DPCCH ve směru uplink sestává z polí:

- Pilot – což je předdefinovaná sekvence bitů pro měření poměru SIR (Signal to Interference Ratio) a pro potřeby řízení výkonu.
- TFCI (Transport Format Combination Identifier) – informuje příjemce o aktuálních parametrech různých transportních kanálů multiplexovaných v DPDCH kanálu.
- FBI (Feedback Information) – pro procedury vyžadující zpětnou vazbu z UE do UTRAN.
- TPC (Transmit Power Control) – pro příkazy řízení výkonu.

Ve směru downlink dochází k časové multiplexaci kanálů DPDCH a DPCCH, není přenášeno pole FBI. Více o kanálovém složení v [14].

Ačkoliv specifikace sítě UMTS dává datové přenosové maximum na úrovni 2 Mbit.s^{-1} , tak v praxi se k této hodnotě lze přiblížit pouze v piko buňkách o velikosti několika desítek metrů. Hodnoty interferencí v mikro buňkách o velikosti jednotek kilometrů dovolují nastavení takových parametrů (počet transportních bloků, činitel rozprostření, schéma FEC, počet paralelních kódů, apod.) dedikovaného datového přenosového kanálu DCH Release '99, že teoretické maximum přenosové rychlosti dosahuje 384 kbit.s^{-1} , viz obr. 37.



Obr. 37: Maximální přenosová rychlost dedikovaného datového kanálu UMTS Release '99.

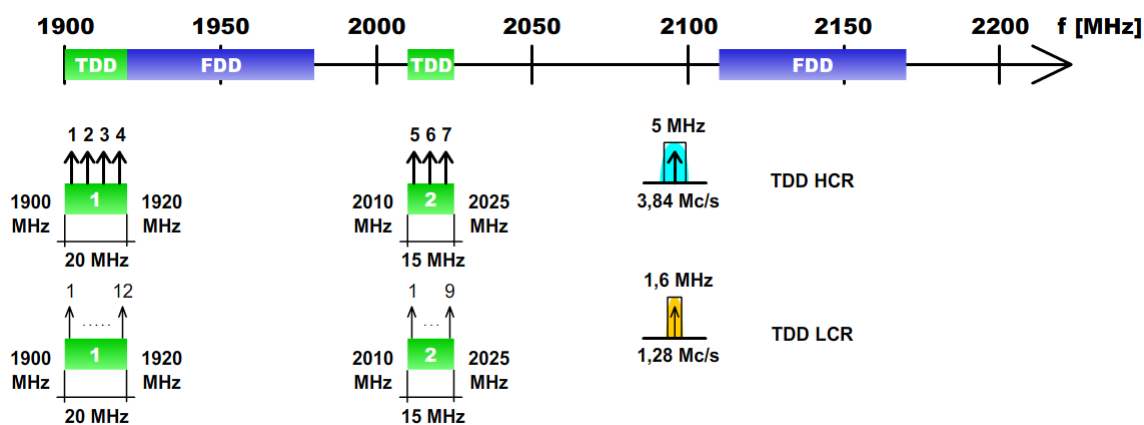
5.1.4 UMTS-TDD

Alternativou k frekvenčně dělenému provozu v odchozím a příchozím směru v systému UMTS-FDD je specifikace UMTS-TDD (UMTS - Time Division Duplex). Ta se shoduje ve většině principů a ujednání s frekvenčně dělenou formou FDD, jednotlivé směry jsou však odděleny časově a komunikace probíhá pouze v jednom kanálu. Zaměření tohoto typu sítě UMTS je primárně na poskytnutí datového spojení k internetu. Specifikovány byly dva druhy spojení:

- UTRA-TDD HCR (High Chip Rate) a
- UTRA-TDD LCR (Low Chip Rate), známé také jako TD-SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access),

kteří používají dvě vyčleněná nepárová spektra 1900-1920 MHz a 2010-2025 MHz, viz obr. 38 a zatímco forma HCR používá klasický model s kanálem o šířce 5 MHz, rámcem o délce 10 ms s 15 sloty a čipovou rychlostí $3,84 \text{ Mc.s}^{-1}$, tak LCR forma používá kanál o šířce 1,6 MHz a čipová rychlost dosahuje $1,28 \text{ Mc.s}^{-1}$. Oproti formě FDD je také pozměněna struktura logických, transportních a fyzických kanálů a to primárně kvůli udržování časové synchronizace přenosu.

V některých zemích došlo k aplikacím i na jiných frekvencích, jmenovitě pásmo 2500-2690 MHz v USA, v okolí kmityčtu 3,5 GHz ve Velké Británii a nebo 872,0-875,8 MHz v České republice pro síť „4G“ společnosti T-Mobile.



Obr. 38: Frekvenční dělení v síti UMTS FDD.

6 Multimediální síť 3,5. generace

Během vývoje sítě UMTS bylo předvídáno, že datový provoz v této síti bude následovat trend zažitý z pevných sítí, tedy obecnou dominantnost IP provozu. Skupina 3GPP spustila tzv. „All IP“ koncept, tedy postupný vývoj sítě k přenosu IP paketů od uživatele k cíli přes síť UMTS bez zbytečných překódování. V páteřní síti byl Release 4 specifikován IP multimediální podsystém IMS (IP Multimedia Subsystem), který za pomoci nových bloků obsluhoval IP provoz. Pozornost se tedy dále zaměřila na přístupovou síť UTRAN a změnou specifikace řízení výkonu společného paketového kanálu DSCH se ověřily potenciální možnosti rádiového rozhraní při aplikaci dalších vylepšení, které poté byly specifikovány v Release 5 pro směr downlink a na podobných principech i pro směr uplink v Release 6. Obsahy release viz [16, 17]

6.1 HSDPA

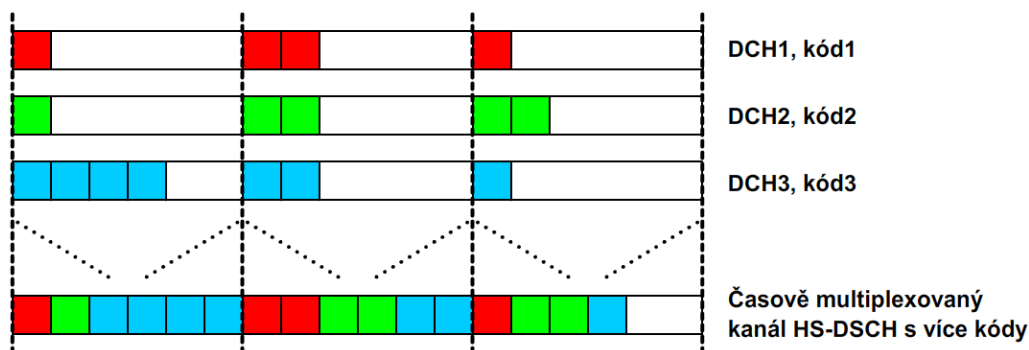
HSDPA neboli High-Speed Downlink Packet Access je vysokorychlostní paketový přístup ve směru downlink specifikovaný v Release 5. K dosažení vyšší datové propustnosti, redukci zpoždění a rychlých špičkových přenosů jsou aplikovány techniky jako adaptivní modulace a kódování AMC (Adaptive Modulation and Coding), technika kombinování kódu - hybridní automatický požadavek na opakování přenosu HARQ s inkrementální redundancí, rychlé paketové plánování FPS (Fast Packet Scheduling) a bezešvá změna buňky. Souhrnně viz obrázek 39.



Obr. 39: Hlavní funkční bloky paketového přenosu HSDPA.

Základní myšlenku HSDPA lze graficky vyjádřenou spatřit na obrázku 40. Původně, dle Release 4 sítě UMTS, byl datový provoz zajištěn společným kanálem CTCH, dedikovaným kanálem DCH, sdíleným DSCH a částečně také kanálem FACH. Při komunikaci na kanálu DCH se může přenosová rychlost lišit, v závislosti na činiteli rozproštění přiděleného kódu. Co se při aplikaci HSDPA principiálně děje je, že se data více uživatelů časově multiplexují a přenášejí na jednom sdíleném kanálu, který používá několik kódů s pevným činitelem

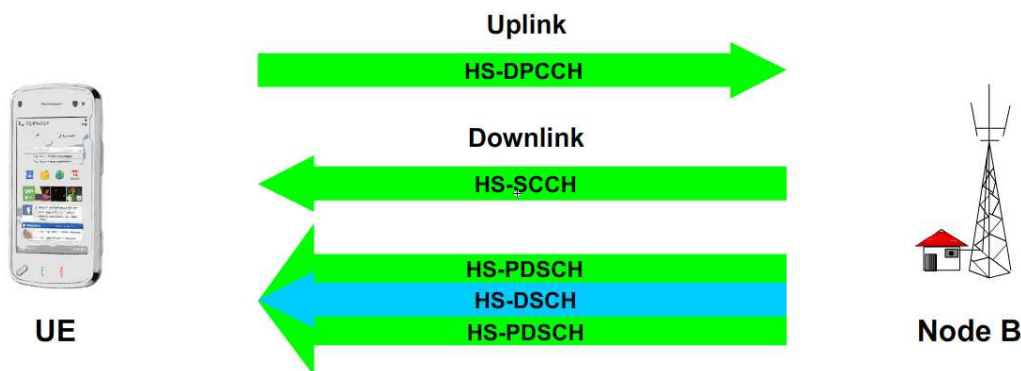
rozprostření. Tento zdánlivě jednoduchý proces však zahrnuje dodržení určitých závislostí a použití řady procedur pro jeho účinnou aplikaci na rádiovém rozhraní. Multiplexovaná data musejí být efektivně plánována, modulována, zakódována a přepravena přes rádiové rozhraní, což zprostředkovávají v úvodu zmíněné techniky AMC, FPS, HARQ a bezešvá změna buňky SCC (Seamless Cell Change) blíže popsané dále.



Obr. 40: Základní koncept HSDPA.

Aplikace HSDPA tedy přináší nový transportní kanál, viz obr. 41:

- HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel), což je vysokorychlostní kanál ve směru downlink, který může být sdílen několika mobilními stanicemi.



Obr. 41: Kanály HSDPA.

Definovány jsou také nové fyzické kanály:

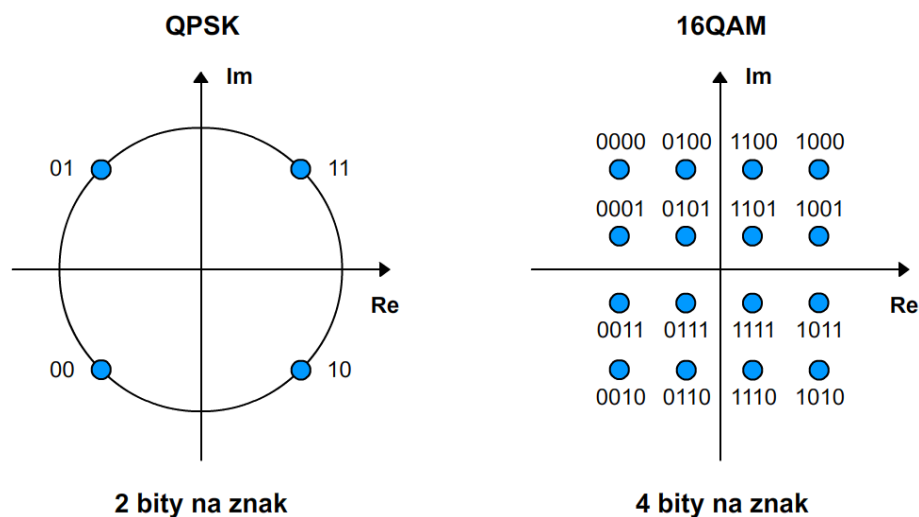
- HS-SCCHs (High Speed Shared Control Channels) – vysokorychlostní sdílené řídicí kanály, což jsou downlink kanály, které mají pevnou přenosovou rychlost 60 kb.s^{-1} , činitel rozprostření = 128, a jsou použity k přenosu řídicích informací potřebných k provozu HS-DSCH,
- HS-PDSCH (High Speed Physical Downlink Shared Channel) – vysokorychlostní fyzický sdílený kanál ve směru downlink, což je fyzický kanál s pevným činitelem rozprostření rovným 16, který je použit pro přenos transportního kanálu HS-DSCH. Pokud zvládá mobilní stanice vyžadovanou schopnost použít několik kanálových kódů ve stejném HS-PDSCH subrámcu, pak je značně navýšena přenosová rychlost.

- Ve směru uplink jde o HS-DPCCH (High Speed Dedicated Physical Control Channel) – vysokorychlostní dedikovaný fyzický řídicí kanál pro přenos zpětných datových informací týkajících se kanálu HS-DSCH jako je například indikátor kvality kanálu CQI (Channel Quality Indication) nebo zprávy NACK/ACK techniky HARQ.

6.1.1 Adaptivní modulace a kódování AMC

Hlavním cílem adaptivní modulace a kódování AMC je přizpůsobovat se změnám rádiového kanálu za pomoci úpravy konečných přenosových parametrů. K přizpůsobení se podmínkám rádiového kanálu existují různé nástroje jako řízení výkonu, adaptivní antény, proměnlivé kódování a přidělování kanálu. Ačkoliv všechny tyto nástroje aplikujeme za stejným cílem, tak každý z nich pracuje s jinou oblastí zájmu, tudíž je můžeme kombinovat, pokud to je ve výsledku přínosem. V HSDPA byla ale například vypuštěna funkce rychlého řízení výkonu, kvůli nevýznamnému přínosu a vysoké složitosti při společném použití s AMC.

Pokud se tedy blíže podíváme na techniku AMC, pak zjistíme, že se stará o konečný výběr modulace a kódovacích parametrů na fyzické vrstvě ke kompenzaci výkyvů rádiového kanálu. Tento výběr je podmíněn měřením rádiového kanálu mobilní stanicí UE, konkrétně parametru CQI a procedurou opětovného přeposílání tzv. retransmise. V potaz jsou také brány provozní informace jako QoS a stav rádiových zdrojů (v tomto případě ne kvalita kanálu, ale počet uživatelů). AMC tedy síti umožní zvolit to nejvhodnější modulační schéma a kódovací parametry.



Obr. 41: Modulace QPSK a 16QAM.

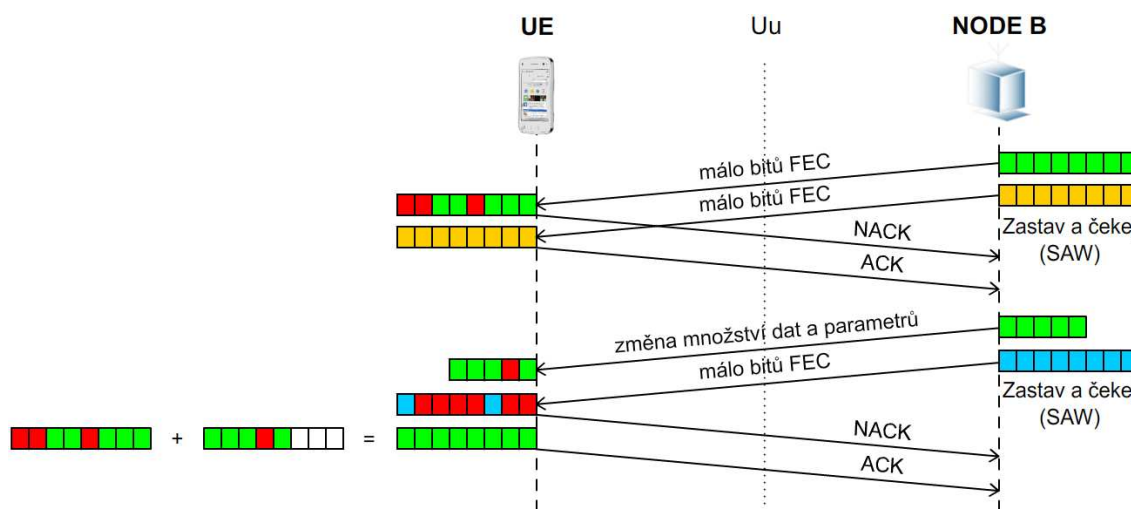
Nově se objevuje možnost použít modulaci kvadraturní amplitudovou modulaci 16QAM (16-Quadrature Amplitude Modulation) a nejen původně specifikovanou modulaci QPSK, viz obr. 41. Modulace 16QAM dosahuje 16 různých stavů, z nichž každý reprezentuje 4 bity, tedy dvojnásobek bitů proti QPSK. Kvůli snížení chybovosti AMC techniky, byly původní procedury generující parametr CQI vylepšeny. Procedury nyní využívají kanál CPICH k přijetí informací o intenzitě pilot bitů, kanálové časování, adaptivní cyklus hlášení a interakci vyšších vrstev.

Díky nepředpokládatelným výkyvům v rádiovém kanálu nemohou ani sebelepší pokročilé techniky měření poskytnout spolehlivé podklady pro fungování AMC a proto jsou nutné dodatečné mechanismy.

6.1.2 Hybridní automatický požadavek na opakování přenosu HARQ

HARQ umožňuje přijímacímu prvku sítě (aplikace v downlinku, tudíž jde o UE) detekovat chyby a pokud je to nutné, tak požádat o retransmisi dat, které byly přijaty chybně. Což je jedním ze základních mechanismů přenosu dat. HARQ se od konvenčního ARQ (Automatic Repeat reQuest) liší ve schopnosti kombinovat původní odhady nebo přesné informace z původního přenosu a následné retransmise s procesem přizpůsobení linky, což ve výsledku vede ke snížení množství potřebných retransmisí a také zlepšuje bezchybnost přizpůsobení linky bez ohledu na výkyvy rádiového kanálu, viz obr. 42.

Protože zpoždění vzniklá retransmisí a počet obslužných signalizačních bitů, tzv. overhead, jsou nejvýznamnějšími měřítky, zvláště pak v bezdrátových sítích, tak byla pro HSDPA zvolena jedna z nejpřímočařejších retransmisních procedur zvaná „zastav a čekej“ neboli SAW (Stop And Wait). Procedura SAW funguje tak, že vysílač vyšle blok a poté čeká potvrzení od UE, že byl blok správně přijat. V kladném případě se pošle další blok, v záporném se blok přeposílá. To ale produkuje zbytečně velká zpoždění. Možné vylepšení je použití několikanásobného SAW střídavě na jednom rádiovém kanále. Takový přístup volí HSDPA, ovšem s tím, že jde o N – kanálové řešení, které lze použít pro více uživatelů najednou.

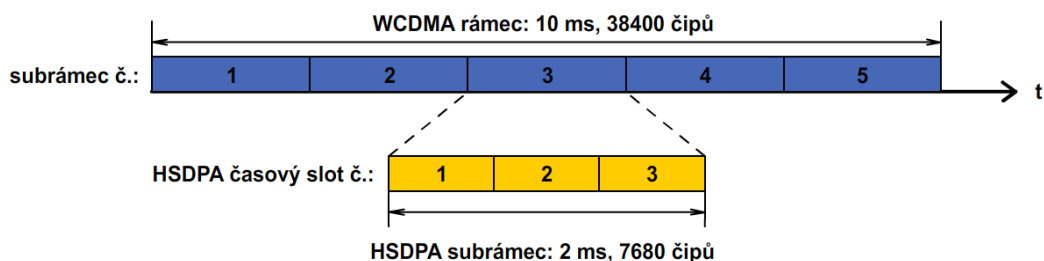


Obr. 42: HSDPA technika HARQ.

Následné kombinační schéma HSDPA se opírá o metodu inkrementální redundance FEC (Forward Error Coding), kdy jsou chybné bloky po demodulaci uchovány a přeposlaná data jsou s nimi zkombinována. Celý tento proces je kvůli urychlení převeden na základnovou stanici Node B.

6.1.3 Rychlé paketové plánování FPS

Efektivní činnost HSDPA s aplikováním AMC a HARQ, klade podmínky na to, aby bylo paketové plánování dostatečně rychlé na to, sledovat rychlé změny úniků signálu. Toto plánování je velmi důležité kvůli absenci rychlé změny vysílacího výkonu a proměnnému činiteli rozprostření, jenž byly nahrazeny zmíněným AMC a HARQ. To je také hlavním z důvodů, proč se prvek plánující vysílání paketů PS (Packet Scheduler) přesunul z kontroléru RNC do základnové stanice Node B. Tím se minimalizuje zpoždění a měření rádiových podmínek také lépe odráží podmínky v rádiovém kanálu, což vede ke spolehlivějším a přesnějším rozhodnutím v plánování. K tomu všemu se přidává zkrácení intervalu TTI z 10 nebo 20 a více ms na pevné 2 ms v kanálu HS-DSCH a ve výsledku umožňuje prvku PS rychlé paketové plánování a tvorbu rámce. Použitý plánovač PS je vždy proprietárním řešením daného výrobce technologie.



Obr. 43: Subrámec HSDPA.

6.1.4 Bezešvá změna buňky SCC

Bezešvá změna buňky umožňuje mobilní stanici UE se připojit k nejlépe dostupné buňce, která jí obsluhuje ve směru downlink, to vede k bezešvému připojení kanálu HS-PDSCH, což také sníží nežádoucí interference při jinak prováděném měkkém handoveru. Změna buňky, což je vlastně část procedur kanálu HS-PDSCH zabezpečujících pohyb, také umožňuje pohyb mobilní stanice UE během vysokorychlostní komunikace. K dosažení této změny je komunikační úloha buňky s obslužným kanálem HS-DSCH převedena z jednoho z rádiových spojení patřících zdrojové buňce na rádiové spojení cílové buňky s jiným kanálem HS-DSCH. Zde je nutné speciální zpracování, neboť přidělení kanálu HS-PDSCH dané mobilní stanici náleží pouze obslužnému HS-DSCH rádiovému spojení přiřazenému UE. Z tohoto důvodu Release 5 také podporuje pouze síť řízenou změnu buňky na rozdíl od Release 4.

6.1.5 Kódové schéma a dopady implementace HSDPA

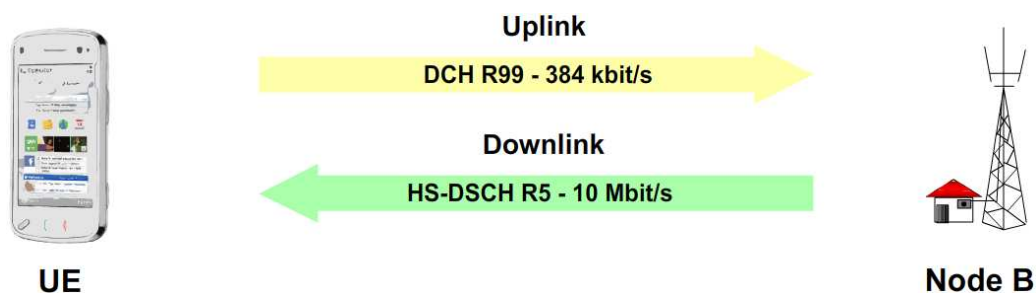
Volbou kanálového kódování, počtem rozprostíracích kódů a dalších parametrů je určeno kódové schéma, v HSDPA značené jako TRFC (Transport Format and Resource Combination), viz tab. 16.

Hlavním přínosem HSDPA z pohledu koncového uživatele je tedy mnohem větší datová propustnost až do špičkové výše 10 Mbit.s^{-1} při použití 15 rozprostíracích kódů, viz obr. 44. Tento přínos závisí především na použité modulaci ve zdrojové konfiguraci. Ale protože ostatní faktory jako pokrytí buňkou, pohyb mobilní stanice UE, vzdálenost UE od Node B a počet

současně komunikujících uživatelů také ovlivní dosažitelnou přenosovou rychlost, tak v praxi se může maximální špičková přenosová rychlost značně snížit z teoretických předpokladů. Zlepšení je ale stále obrovské ve srovnání s datovou propustností přístupové sítě dle specifikace Release 3 a 4. Mimo jiné lze také pozorovat značně nižší latence spoje konec-konec a zkapacitnění buněk, v mikro buňkách až dvou násobně oproti Release 4.

HS-DSCH třída	Maximální počet kódů pro kanály HS-DSCH	Minimální počet 2ms TTI intervalů k počátku příštího vysílání stejnému UE	Maximální počet bitů transportního bloku HS-DSCH v jednom 2ms TTI	Počet bitů soft kanálu procedury HARQ	Přenosová rychlost [Mbit.s ⁻¹]
1	5	3	7298	19200	1,22
2	5	3	7298	28800	1,22
3	5	2	7298	28800	1,82
4	5	2	7298	38400	1,82
5	5	1	7298	57600	3,65
6	5	1	7298	67200	3,65
7	10	1	14411	115200	7,21
8	10	1	14411	134400	7,21
9	15	1	20251	172800	10,13
10	15	1	27952	172800	13,98
11	5	2	3630	14400	0,91
12	5	1	3630	28800	1,82

Tabulka 16: Třídy HSDPA, pozn.: třídy 11 a 12 pouze QPSK modulace.



Obr. 44: Maximální přenosová rychlost datových kanálů dle UMTS Release 5.

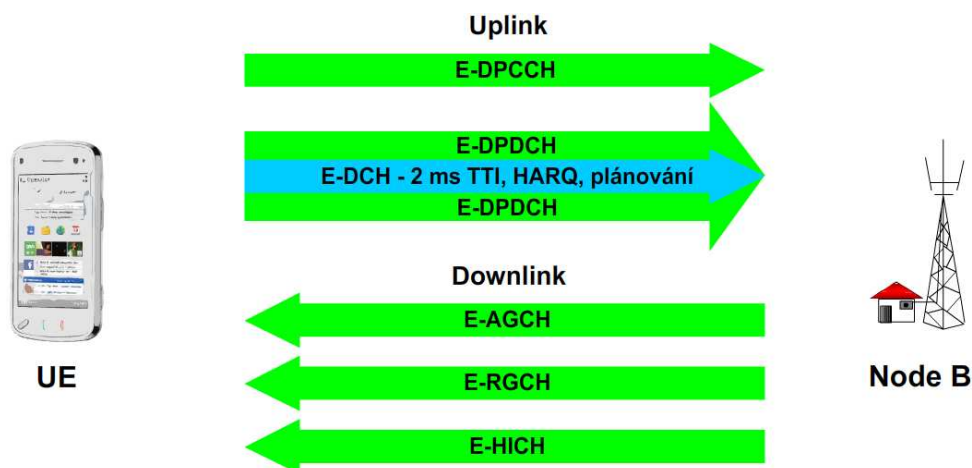
Aplikace HSDPA má i své negativní dopady. Ač je zpětně kompatibilní, jsou nutná vylepšení a aktualizace rádiového rozhraní a architektury původní sítě postavené dle specifikací Release 4. V rámci síťové architektury vyžaduje HSDPA přesun funkcí nakládajících s pakety na okraj sítě, což vede k většímu rozptýlení prvků architektury sítě. Nové metody adaptivní modulace a kódování přinášejí nutnost značných změn ve fyzické vrstvě a dotýkají se oblastí jako je kanálová struktura, multiplexování, časování a procedur nutných k provozu HSDPA. Rychlé paketové plánování klade větší nároky na spojovou vrstvu MAC a její interakci s vrstvou fyzickou. Zkrácení rámců také vyžaduje zvýšení výpočetního výkonu UE i Node B. Více o rámcích v síti UMTS v [14].

6.2 HSUPA

HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) je pojmenování stvořené firmou Nokia, sdružení 3GPP namísto toho používá termín „vylepšený uplink“ EUL (Enhanced Uplink). V principu jde o aplikaci metod a technik použitých v HSDPA ve směru uplink. Tuto aplikaci specifikuje UMTS Release 6. Cílem této specifikace je zlepšit výkon dedikovaných transportních kanálů ve směru uplink. Jinými slovy zvýšit kapacitu a propustnost a zároveň snížit latenci.

HSUPA používá ve směru uplink nový vylepšený dedikovaný kanál E-DCH (Enhanced DCH), viz obr. 45, na kterém jsou aplikovány metody přizpůsobení spoje jako:

- Zkrácení intervalu TTI umožňující rychlé přizpůsobení spoje.
- HARQ k zefektivnění retransmisí.
- Plánování paketových přenosů, ale na principu žádost-povolení, kdy mobilní stanice UE žádají o povolení odeslat data, avšak plánovací prvek sítě rozhoduje o tom, kdy a kolika mobilním stanicím UE to bude dovoleno. Žádost obsahuje informaci o stavu přenosového zásobníku, množství dalších dat a dostupný maximální SIR. Na rozdíl od HSDPA však nejsou přenosy uplink vzájemně ortogonální.
- Tzv. neplánovaný přenos, tedy přenos iniciovaný samotnou mobilní stanicí UE například při komunikaci VOIP, kdy ani redukovaný interval TTI a přesunutí plánovače z RNC do Node B neposkytnou vyžadovanou přenosovou rychlost a krátkou latenci.



Obr. 45: Kanály HSUPA.

Aplikace HSUPA přináší, kromě kanálu E-DCH, vznik dalších nových fyzických kanálů ve směru downlink:

- E-DCH dedikovaný fyzický datový kanál E-DPDCH (E-DCH Dedicated Physical Data Channel) použitý k přenosu samotného E-DCH a

- E-DCH dedikovaný fyzický řídicí kanál E-DPCCH (E-DCH Dedicated Physical Control Channel) použitý k přenosu řídicích informací sdružených s kanálem E-DCH.

Ve směru uplink jsou to pak:

- E-DCH kanál definitivního potvrzování E-AGCH (E-DCH Absolute Grant Channel), což je společný kanál, který nese potvrzení pro celkové plánování kanálu E-DCH.
- E-DCH kanál relativního potvrzování E-RGCH (E-DCH Relative Grant Channel), což je dedikovaný kanál, který může být použit pro upravení parametrů přenosu mobilní stanice.
- E-DCH kanál indikace HARQ E-HICH (E-DCH HARQ Indicator Channel), který slouží k přenosu zpráv ACK/NACK techniky HARQ.

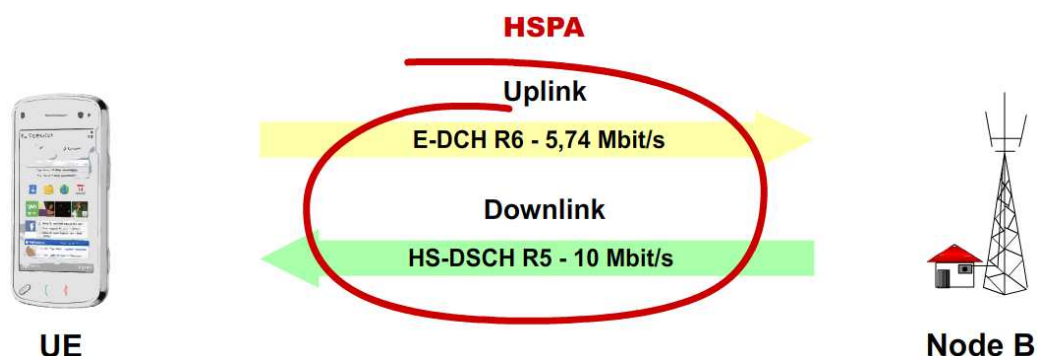
Bližší funkci jednotlivých kanálů lze najít např. zde [18] a zde [19].

HSUPA je roztrženo podle výkonosti do kategorií viz tabulka 17.

E-DCH třída	Maximální počet kódů pro kanály E-DCH	Minimální faktor rozprostření	Maximální počet bitů transportního bloku E-DCH v jednom TTI	Doba trvání TTI [ms]	Přenosová rychlost [Mbit.s ⁻¹]
1	1	4	7110	pouze 10	0,71
2	2	4	14484	10	1,45
2	2	4	2798	2	1,4
3	2	4	14484	pouze 10	1,45
4	2	2	20000	10	2
4	2	2	5772	2	2,89
5	2	2	20000	pouze 10	2
6	4	2	20000	10	2
6	4	2	11484	2	5,74

Tabulka 17: Třídy HSUPA.

Hlavním přínosem HSUPA z pohledu koncového uživatele je opět větší datová propustnost až do špičkové výše 5,74 Mbit.s⁻¹ při použití 4 rozprostřacích kódů. Po specifikaci HSUPA se začal pro jednotné označení obou technologií rychlého paketového přístupu používat název HSPA, viz obr. 46.

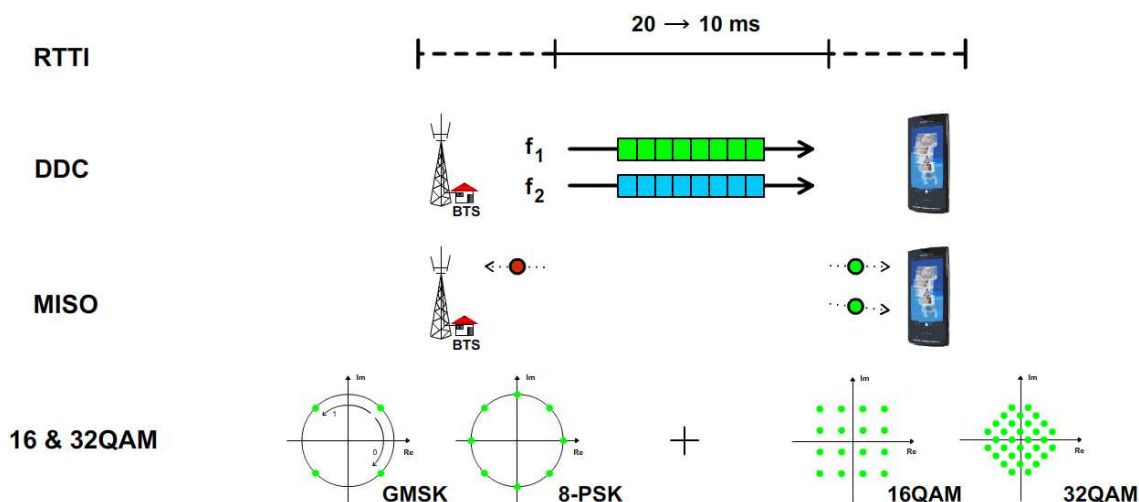


Obr. 46: Maximální přenosová rychlost datových kanálů dle UMTS Release 6.

6.3 Evolved EDGE

„Vyvinuté EDGE“ neboli Evolved EDGE nebo také EDGE Evolution, zkráceně E-EDGE je přídatné rozšíření standardu GSM v 3GPP Release 7, které dále rozšiřuje možnosti EDGE a to tak, že ve výsledku je teoreticky možné dosáhnout rychlosti přes 1 Mbit.s^{-1} a latencí okolo 80 ms. A to vše pouze za cenu softwarových změn v přístupové síti a s novými uživatelskými přístroji. Evolved EDGE s sebou přináší tyto změny, z nichž hlavní lze vidět na obrázku 47:

- Redukovaný přenosový interval RTTI (Reduced Transmission Time Interval) – V klasickém EDGE je jeden RLC blok přenesen ve čtyřech rámcích za použití jednoho časového slotu, což celkově průměrně trvá 20 ms. Při použití RTTI je jeden RLC blok přenášen pouze ve dvou rámcích za použití dvou časových slotů, což redukuje čas přenosu na rádiovém rozhraní na 10 ms.
- RTTI také podporuje kombinované potvrzování PAN (Piggy-backed Ack/Nack), které umožňuje přijímači oznamovat chybějící datové bloky okamžitě, namísto čekání na poslání dedikované zprávy Ack/Nack.



Obr. 47: Hlavní změny dle Evolved EDGE.

- RLC rozhraní může fungovat v tzv. „nestálém“ módu (non persistent mode). V běžném EDGE může rozhraní RLC pracovat v potvrzovaném nebo nepotvrzovaném módu, kdy v druhém ze jmenovaných módů nedochází k žádné retransmisi chybných datových bloků a jediný chybný blok způsobí ztrátu celého paketu vyšší vrstvy. V nestálém módu může být RLC datový blok opětovně přeposlán, pokud nepřekročil určitou hodnotu svého stáří. Jakmile tento čas uplyne, je blok považován za ztracený.
- Dvojitá nosná ve směru downlink (Downlink Dual Carrier) umožňuje mobilní stanici přijímat na dvou různých frekvenčních kanálech současně, což zdvojnásobuje propustnost. To, že má mobilní stanice dva různé přijímače také umožňuje přijímat v dalším časovém slotu při použití pouze jedné nosné, protože pro monitorování je použit druhý přijímač a vynechává se doba přeladění.
- Násobné přijímací řetězce MISO (Multiple Input Single Output), kdy přidáním druhého přijímacího řetězce do mobilní stanice zvyšujeme pravděpodobnost správného přijetí datových bloků. Diverzita řetězců je uskutečněna s pomocí odlišné pozice druhého přijímače či odlišné přijímané polarizace.
- Nezávislý vysílací a přijímací řetězec, které mobilní stanici umožňují zároveň vysílat či přijímat a využít všech 8 časových slotů.
- Vyšší modulační schémata – použití modulace vyšších řádů, konkrétně 16 nebo 32QAM, které umožňují přenos čtyř respektive pěti bitů na symbol, přičemž u druhé je použitelnost minimálně sporná, neboť vyžaduje naprosto ideální podmínky příjmu. Zvýšena byla také symbolová rychlost ve směru uplink a specifikována nová modulační schémata, což v celku navýší propustnost za časový slot o 38 %.

Ač byl tento standard oficiálně specifikován, tak praktického použití se prozatím nedočkal, neboť na trhu neexistuje jediný mobilní přístroj, který by ho podporoval, tudíž o praktických rychlostech se lze pouze dohadovat. [20]

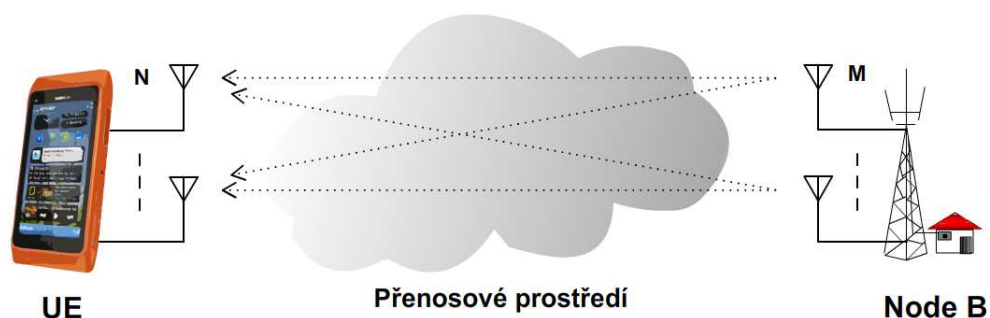
7 Multimediální síť 3,9. generace

K této generaci lze řadit sítě, které sice spadají do 3G, ale již se blíží splnění požadavků na síť 4G dle ITU-R, tzv. IMT Advanced, více v kapitole 8. Jde především o síť a vylepšení, jejichž specifikace je obsažena v Release 7 a Release 8 sdružení 3GPP. Tyto specifikace jsou založeny na posledních dostupných technologických inovacích.

7.1 HSPA+

HSPA+ je specifikace vylepšení původních systémů HSDPA a HSUPA, je známé také jako Evolved HSPA. Tato specifikace je součástí Release 7, jehož vývoj byl ukončen na konci roku 2007. Jde především o:

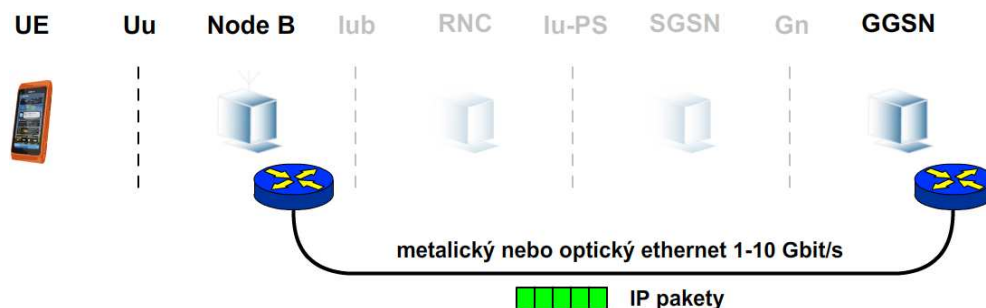
- Použití techniky „více vstupů, více výstupů“ MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) – jde o multi-antennní systém používaný v oblasti bezdrátových sítí, viz graficky na obrázku 48. Přínosem tohoto způsobu komunikace je nárůst datové propustnosti a dosahu při zachování stávající šířky pásma a celkového výdeje vyzařované energie. Technika MIMO nespotřebovává více frekvenčního spektra, ale umožňuje využít stejně velké spektrum efektivněji. K tomu slouží použití více antén, které musí být rozmístěny v určité konkrétní vzdálenosti od sebe. Rádioová komunikace za pomoci techniky MIMO využívá vícecestné šíření signálu ke zvýšení propustnosti a dosahu nebo ke snížení počtu přenosových bitových chyb. To je opakem snahy eliminovat efekt vícecestné propagace v tradičních systémech „jeden vstup, jeden výstup“ SISO (Single-Input Single-Output), kde odražené signály působí parazitně. Systémy s MIMO dokáží díky většímu počtu antén správně interpretovat a vyhodnotit přijatá data. Konfigurace je často udávána jako „počet vysílacích prvků x počet přijímacích prvků“ nebo naopak.



Obr. 48: Technika vysílání a příjmu MIMO v konfiguraci $N \times M$.

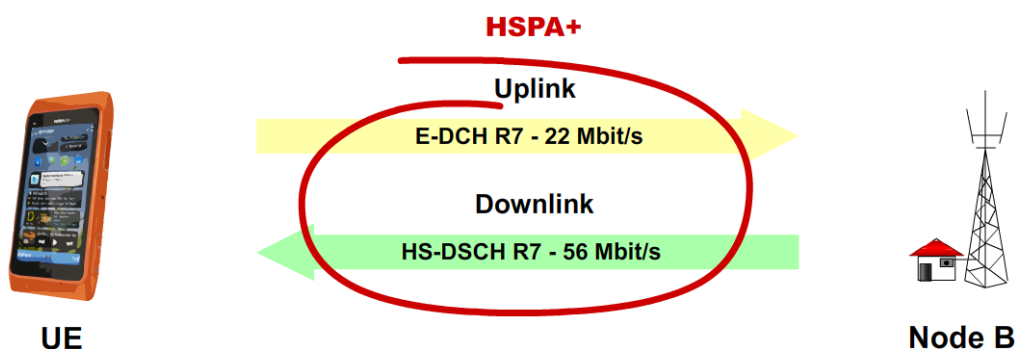
- Použití efektivnějších modulací vyšších řádů 16QAM ve směru uplink a 64QAM ve směru downlink, což se ale významně projevuje pouze v oblasti dobrého pokrytí signálu, tedy cca do poloviny vzdálenosti celkového pokrytí buňky. Modulační 64QAM umožní nést celkově 6 bitů na jeden znak.
- Možnost implementace „All-IP“ architektury, která specifikuje připojení základnové stanice Node B do sítě operátora přes standardní gigabitový ethernet a

to až k hraničním routerům spravovaným v rámci GGSN, jež jsou připojeny do sítě Internet. To umožní vynechat ve zpracování dat kontrolní uzel RNC i středisko SGSN, což vede k urychlení provozu, viz obr. 49.



Obr. 49: Princip „All-IP“ v HSPA.

Použití modulace 64QAM umožňuje zvýšit rychlost HSDPA ze 14,4 Mbit.s⁻¹ na 21,1 Mbit.s⁻¹ a přenos dedikovaným kanálem HSUPA perspektivně až na 11,5 Mbit.s⁻¹. Použití techniky MIMO umožňuje zvýšit rychlost HSDPA až na 28 Mbit.s⁻¹, při konfiguraci 2 x 2. Konfigurace 4 x 4 a vyšší umožňují dosahovat rychlostí až 56 Mbit.s⁻¹ pro HSDPA a 22 Mbit.s⁻¹ pro HSUPA, viz obr. 50. Více o HSPA+ lze nalézt zde [21].



Obr. 50: Maximální přenosová rychlost datových kanálů dle UMTS Release 7.

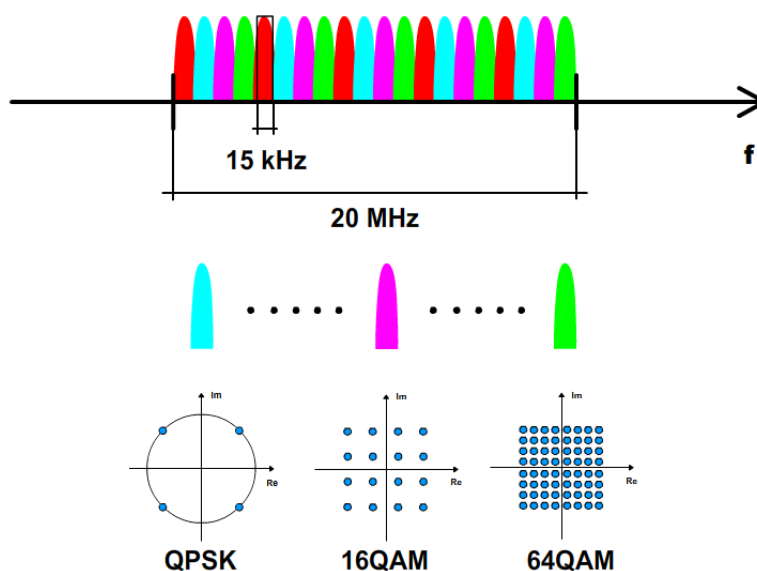
7.2 LTE

LTE (Long Term Evolution) neboli v doslovném překladu „dlouhodobý rozvoj“ je projekt skupiny 3GPP, který se zabývá vývojem v oblasti rádiové části přístupové sítě. Jeho protějškem zabývajícím se vývojem jádra sítě je projekt SAE (System Architecture Evolution). LTE a SAE dohromady tvoří tzv. „vyvinutý paketový systém“ EPS (Evolved Packet System). Standard EPS, který sice stále řadíme mezi 3G systémy, přináší se specifikací kompletně nového rádiového rozhraní a vývoji v přístupové a páteřní části sítě, významný krok v mobilní komunikaci. Dvě hlavní změny, které přináší EPS, jsou:

- Zlepšení výkonnosti, jež je charakterizováno spektrální účinností minimálně dvakrát vyšší, než je tomu u technologií HSPA.
- Jedná se o čistě paketový systém, kde hlavní roli přebírá IP protokol a systém IMS, což vede k unifikaci a zjednodušení architektury.

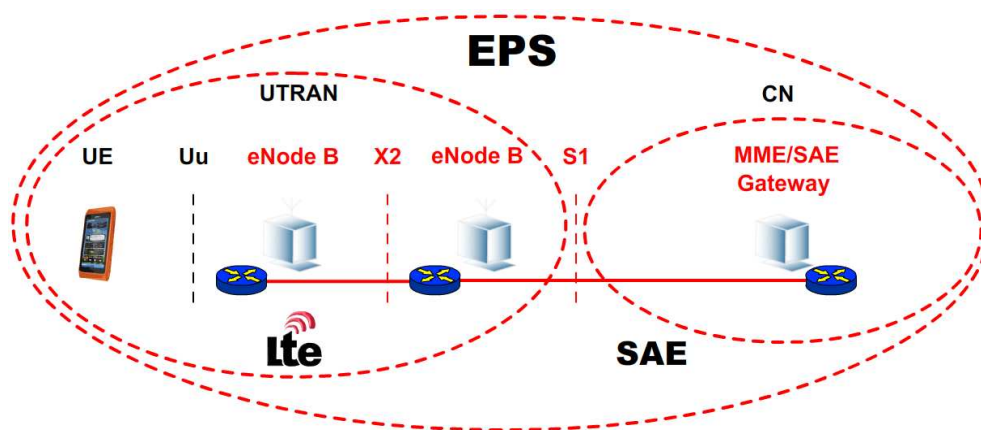
Standard LTE vzniklý ze stejnojmenného projektu byl specifikován v Release 8 skupiny 3GPP a mezi jeho hlavní rysy patří:

- Již zmíněná vysoká spektrální účinnost. Té je dosaženo za pomoci použití ortogonálního multiplexu s kmitočtovým dělením OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ve směru downlink. Jedná se o přenosovou techniku pracující s rozprostřeným spektrem až 20 MHz, kdy je signál vyslán na několika stovkách až tisících nezávislých nosných kmitočtech, což zvyšuje šanci na nejlepší přizpůsobení se aktuálním podmínkám v daném frekvenčním pásmu. Každá samostatná nosná je modulována podle těchto aktuálních podmínek modulacemi QPSK, 16-QAM nebo 64-QAM, viz obr. 51. Jednotlivé nosné o šířce 15 kHz jsou vzájemně ortogonální. Datový tok celého kanálu se tedy dělí na stovky dílčích datových toků jednotlivých nosných. Ve směru uplink byla použita modulace SC-FDMA (Single Carrier FDMA) nebo také jinak zvaná DFTS-OFDM s jednou nosnou, která lépe vyhoví podmínkám kladeným na mobilní terminál a odchozí paketový provoz. O tomto typu modulace se lze více dočíst např. zde [22].



Obr. 51: OFDM a adaptivní metoda přidělení vhodné modulace.

- Podpora proměnné šířky pásma: 1,4; 3; 5; 10; 15 a 20 MHz.
- Využití technologie MIMO, která je popsána v kapitole 7.1.
- Velmi nízké latence. Čas sestavení spojení a přenosová zpoždění jsou velmi krátká.
- Jednodušší architektura sítě, kdy jako jediný uzel přístupové sítě E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) figuruje základnová stanice eNode B (evolved Node B). Tímto se také snížil počet rozhraní a specifikovány jsou rozhraní S1 (eNode B < > MME/SAE-Gateway) a X2 (eNode B < > eNode B), viz obr. 52.



Obr. 52: LTE – architektura sítě.

- Jednoduchá architektura přenosových protokolů na bázi sdíleného kanálu a pouze paketových přenosů s hlasem přenášeným za pomoci technologií VOIP dle specifikace VOLTE (Voice over LTE).
- Samozřejmě je zpětná kompatibilita a spolupráce se sítěmi UMTS, GSM a dokonce i CDMA2000.

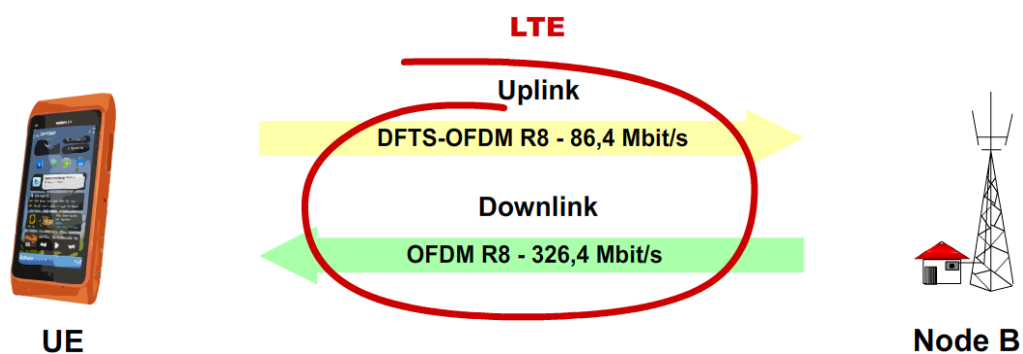
Mobilní stanice jsou podle parametrů rozděleny do pěti skupin, viz tabulka 17.

	Třída				
	1	2	3	4	5
Špička přenosové rychlosti ve směru downlink [Mbit.s ⁻¹]	10	50	100	150	300
Špička přenosové rychlosti ve směru uplink [Mbit.s ⁻¹]	5	25	50	50	75
Přenosové pásmo [MHz]	20				
Modulace ve směru downlink	QPSK, 16QAM, 64QAM				
Modulace ve směru uplink	QPSK, 16QAM			QPSK, 16QAM, 64QAM	
MISO 1x2	doporučeno				
MIMO 2x2	ne	povinné			
MIMO 4x4	ne			povinné	

Tabulka 17: Rozdělení mobilních stanic LTE do kategorií.

Maximální špičkové dosahované rychlosti systému LTE dosahují ve směru:

- downlink: 326,4 MBit.s⁻¹ při konfiguraci MIMO 4 x 4, viz obr. 53 a 172,8 MBit.s⁻¹ při konfiguraci 2 x 2 a 20 MHz šířce spektra,
- uplink 86,4 MBit.s⁻¹ při šířce spektra 20 MHz.



Obr. 53: Maximální přenosová rychlost datových kanálů dle UMTS Release 8.

Na systém LTE se poprvé pohlíží jako na celosvětovou technologii, která by měla dostát požadavkům systému IMT-2000. Je tomu tak proto, že společnosti stojící za technologií CDMA2000 upustili od vývoje standardu zvaného UMB (Ultra Mobile Broadband) a přiklonili se k technologii LTE. Praktické komerční nasazení se očekává celosvětově v letech 2010-2011. Více o technologii LTE a SAE v [23].

8 Vysokorychlostní IP síť 4. generace

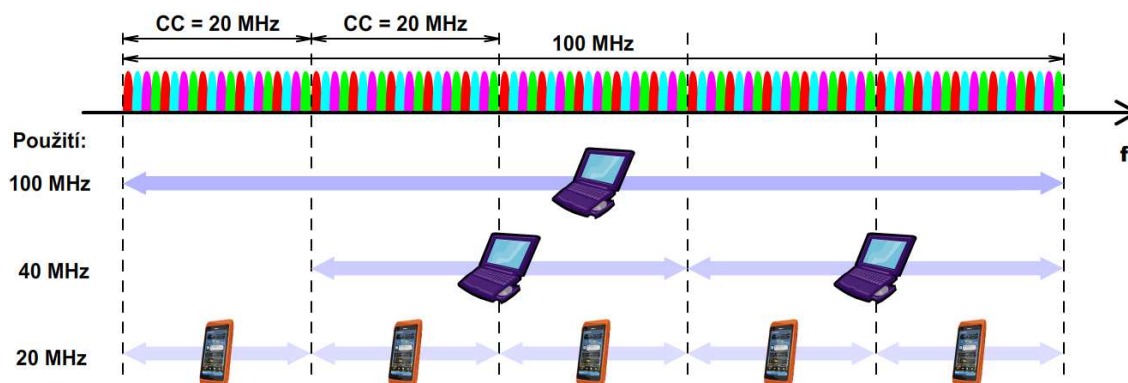
Mezigenerační skok ve standardech je vždy podložen jistou změnou, která změní povahu nabízené služby. Pokud bychom se podívali zpětně, pak touto změnou při přechodu z 1G na 2G byla digitalizace sítí a při přechodu z 2G na 3G zaměření na multimédia. Síť standardů 4G pak přináší architekturu plně založenou na IP protokolu a několikanásobné navýšení přenosových rychlostí. Tyto podmínky specifikovala organizace ITU-R v doporučení IMT Advanced (International Mobile Telecommunications Advanced), kde je uveden v první řadě požadavek na rychlost 100 MBit.s^{-1} pro pohyblivý mobilní přístup a 1 GBit.s^{-1} pro tzv. nomadický přístup, tedy komunikaci, možný přesun a opětovnou komunikaci na jiném místě s žádným nebo minimálním pohybem mobilní stanice během komunikace. Komunikace by měla dle IMT Advanced také probíhat v alespoň 40 MHz širokém variabilním frekvenčním spektru. Síť 4G se také vyznačují (v důsledku, ne podmínce) používáním ortogonálního multiplexu s kmitočtovým dělením OFDM.

8.1 LTE Advanced

LTE Advanced, tedy „pokročilé LTE“ je prvním z kandidátů na mobilní systém 4. generace. Plánováno je jako rozšíření stávajícího LTE, které ve své původní specifikaci nevyhoví požadavkům na 4G síť v poskytovaných rychlostech a šířce variabilního spektra, která je pouze 20 MHz. Formální předložení návrhu skupiny 3GPP, který nominuje LTE Advanced jako kandidáta na systém 4G IMT Advanced, organizaci ITU proběhlo v listopadu 2009. Obsahem toho návrhu je splnění a v určitých oblastech i překonání požadavků ITU. LTE Advanced by mělo být zpětně kompatibilní s původním vydáním LTE v Release 8 a sdílet s ním frekvenční spektra. Technologie LTE Advanced je nyní ve stádiu výzkumu v rámci Release 10, kde jsou vyhodnocovány jednotlivé technologie, týkající se:

- Seskupení nosných, kdy celková variabilní šířka pásma dosáhne potenciálně až k 100 MHz. Toto pásmo se skládá z mnohonásobných základních frekvenčních bloků CCs (Component Carriers) o šířce např. 20 MHz, které jsou zpětně kompatibilní s původním LTE, viz obr. 54. Přidělení jednotlivých nosných pak podporuje současné použití sousedních i nesousedních frekvencí, včetně asymetrického uspořádání FDD.
- Downlink – OFDMA (Orthogonal FDMA) se strukturou založenou na CC.
- Uplink – několikanásobné DFTS-OFDM za pomoci paralelních CC.
- Vylepšení multianténních technik:
 - ve směru downlink až 8 vláknový přenos namísto max. 4 vláknového,
 - ve směru uplink nově podpora SU-MIMO (Single User MIMO) s až 4 vláknovými přenosy.

- CoMP (Coordinated Multiple Point transmission and reception) zahrnující dynamický výběr buňky, spojité přenosy s více eNode B, stejně jako koordinované plánování a tvarování vysílaného signálu.
- Vykrývání signálu (relaying). Specifikace vykrývače RN (Relay Node), jenž je spojen s dárčovskou buňkou, vytváří samostatnou buňku a přebírá na sebe funkci plánování a HARQ.



Obr. 54: Šířka pásma a jeho využití v LTE Advanced.

18. srpna 2009 oznámila Evropská komise, že investuje celkem 18 miliónů euro na výzkum a nasazení technologií LTE a LTE Advanced. [24, 25]

8.2 Mobile WiMAX

Mobile WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) je součástí posledního návrhu z rodiny 802.16 organizace IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Jde konkrétně o 802.16m, kde bude specifikován návrh rádiového rozhraní splňujícího podmínky IMT Advanced a tudíž spadajícího do rodiny 4G. Předchozí specifikace 802.16e nabízí špičkové rychlosti 128 MBit.s^{-1} ve směru downlink a 56 MBit.s^{-1} ve směru uplink pro kanál o šířce 20 MHz.

8.3 UMB

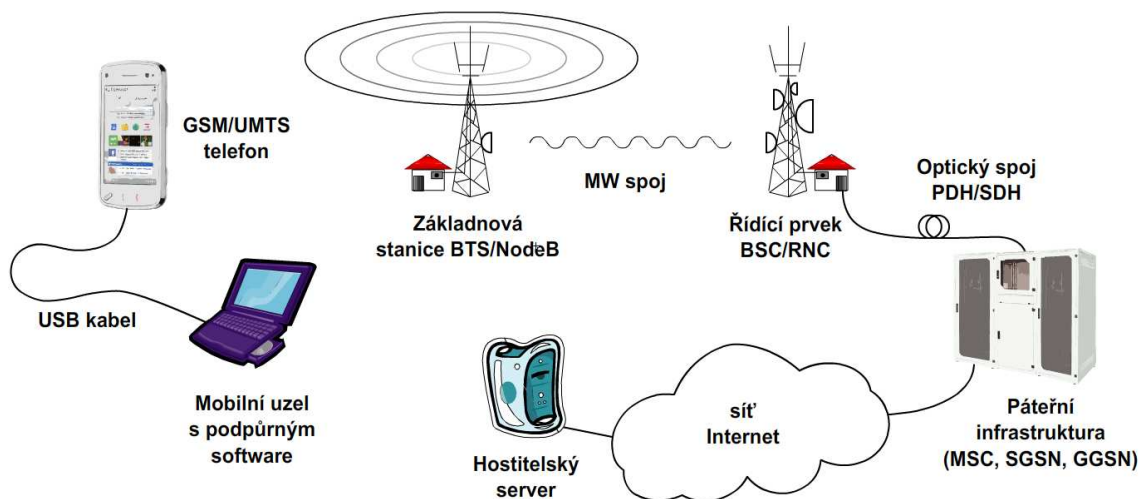
UMB (Ultra Mobile Broadband) byl návrh skupiny 3GPP2 sdružující organizace stojící za technologií CDMA2000. Tento návrh byl podporován především firmou Qualcomm, která však v listopadu 2008 ukončila financování vývoje UMB ve prospěch technologie LTE. Cílem UMB bylo dosažení 275 MBit.s^{-1} ve směru downlink a 75 MBit.s^{-1} ve směru uplink. Plánováno bylo použití OFDM, variabilní šířka spektra a architektura plně založená na IP protokolu.

9 Datové přenosy v praxi - měření

Cílem měření různých typů datových spojení bylo orientačně ověřit jejich teoretické parametry popisované v předchozích kapitolách. Provéřeny byly okruhově orientované přenosy v rámci sítě GSM tedy CSD a HSCSD, stejně tak jako paketové přenosy v podobě GPRS a EDGE. Opomenuta nebyla ani síť UMTS, kde proběhlo měření obou forem, tedy frekvenčně děleném multiplexu FDD a časově děleném TDD. Ve všech případech se jednalo o měření dvou nejčastěji uváděných parametrů datové linky a to:

- doby přenosu zpráv 'žádost-odpověď' (request-reply),
- hodnoty hrubé přenosové rychlosti.

Testovaná komunikační trasa sestávala z mobilního uzlu v podobě notebooku s operačním systémem Microsoft Windows XP 32 bit a Windows 7 64 bit. K tomuto notebooku byl USB kabelem připojen mobilní telefon schopný komunikace v síti GSM i UMTS. Data byla přenášena rádiovým prostředím do základové stanice značené BTS v případě sítě GSM a Node B v případě sítě UMTS. Odtud lze předpokládat přenos dat do řídicího prvku BSC respektive RNC po mikrovlnném spoji a dále po optických spojích do páteří sítě. Z páteří sítě po datových linkách sítě internet k hostitelskému serveru. Schéma tohoto spojení lze vidět na obrázku 55. Jedinou výjimkou bylo zapojení při komunikaci v síti UMTS, formě TDD, kdy byla místo mobilního telefonu použita vysílací datová karta formátu PCMCIA. Základní údaje všech měření lze vidět v příloze č.1, tab. č.1.



Obr. 55: Testovaná komunikační trasa v prostředí sítí GSM a UMTS.

9.1 Testování doby přenosu zpráv 'žádost-odpověď'

Při měření doby odezvy bylo provedeno vždy minimálně 100 jednotlivých testů, zaznamenán byl maximální a minimální čas a byla vypočtena průměrná doba. Velikost testovaného bloku byla ve všech případech 32 bajtů. Ztrátovost ve všech případech dosáhla 0%. Souhrnné výsledky měření doby odezvy lze nalézt v příloze č.1, tab. č.2.

U okruhově orientovaných přenosů CSD bylo ustanoveno spojení kanálem TCH/F9.6, tedy rychlostí 9600 kbit.s^{-1} . Průměrná doba odezvy se pohybovala okolo jedné sekundy v toleranci cca 60 ms. Lepších výsledků bylo dosaženo při ustavení spojení HSCSD. Průměrná doba odezvy byla 678 ms, nejnižší 645 ms, ale také se několikrát objevilo delší zpoždění, až 1229 ms. Zkrácení doby přenosu lze přičíst na vrub použitému protokolu V.110, stejně tak jako určité opakující se odchylky.

Doba odezvy u paketově orientovaných datových přenosů dosahuje hodnot značně nižších. V případě GPRS se průměrná doba odezvy pohybovala okolo 300 ms, ovšem projevil se princip, na kterém je spojení ustanoveno, tedy že paketová propustnost ovlivněna aktuálním zatížením sítě, a to velkou rozkolísaností dat, která se pohybovala v mezích cca 200 až 800 ms. Technologie EDGE kromě navýšení rychlostí přenosové rychlosti slibuje i snížení doby odezvy. To se při měřeních potvrdilo, oproti GPRS byl zaznamenán asi třetinový pokles na průměrných cca 200 ms a to shodně u obou testovaných operátorů. V případě sítě T-Mobile nedocházelo k tak velkým výkyvům v hodnotách jako při komunikaci v síti Telefónica O2. To lze ale opět nejspíše připsat momentálnímu zatížení sítě. Nejnižší naměřená hodnota doby odezvy byla shodně u obou operátorů cca 160 ms.

Specifikace sítě UMTS jako své výhody uvádí také nízkou dobu odezvy. Při měření frekvenčně dělené formy FDD, datového kanálu DCH R99 bylo dosaženo nejnižší hodnoty 126 ms a průměrné 150 ms. Projevilo se také kolísání až k cca 400 ms. Časově dělený duplex TDD dosáhl obdobných průměrných hodnot 130 ms, nejnižší hodnoty se však pohybovaly až pod hranici 100 ms přesněji okolo 75 ms. Toto spojení však také trpělo rozkolísaností s maximálními časy až v okolí 500 ms.

Nejlepších hodnot bylo dosaženo měřením v síti UMTS, konkrétně při spojení typu HSDPA dle Release 5. Hodnoty doby odezvy se pohybovaly trvale pod hranicí 100 ms s průměrem okolo 90 ms a minimem 74 ms. Občasné odchylky dosáhly hodnot do 200 ms.

9.2 Testování hodnoty hrubé přenosové rychlosti

Přenosová rychlost byla testována přenosem dat protokolem FTP. Velikost přenášených dat byla měněna dle potřeby v rozsahu 50 kB až 20 MB tak, aby bylo dosaženo podobných časů přenosu. Jestliže je s postupným vývojem sítí snaha o snížení doby odezvy, tak u přenosové rychlosti jde naopak o snahu ji čím jak nejvíce navýšit.

První specifikací datových přenosů v síti GSM bylo okruhově orientované spojení CSD. Testovaná původní forma využívající jeden hlasový kanál na plném provozním kanálu TCH/F9.6 dává maximální rychlost v obou směrech 9600 bit.s^{-1} . V obou směrech byl přenos dat stabilní s celkovou průměrnou přenosovou rychlostí v hodnotě okolo 85 % kapacity kanálu, tedy cca 8 kbit.s^{-1} . U směru uplink se projevila trochu delší doba počátku přenosu, v rámci několika sekund.

Další možností dle Release '96 je zřetěžit několik provozních kanálů, tedy specifikace HSCSD. Tuto volbu v tuzemském prostředí nabízel vždy pouze operátor Eurotel, později nástupnická společnost Telefónica O2. Tento typ spojení se však nedařilo navázat, vždy bylo

ustanoveno pouze spojení CSD s jedním kanálem TCH/F9.6. Telefónica O2 ve své síti provozuje zařízení společnosti Nokia, které je postupně nahrazováno technologií čínské společnosti Huawei. A zde je právě zdroj problému. Technologie Huawei totiž nepodporuje přenosy typu HSCSD, ba ani ustanovení provozního kanálu TCH/F14.4, což bylo konzultováno s pracovníky dohledu sítě spol. Telefónica O2. Bylo proto nutné vyhledat místo pokrytí buňkou, kde je stále ještě původní technologie Nokia. Po zdařilém nález buňky proběhlo již měření v pořádku. Spojení lze ustanovit dle potřeby s nastavením ve formě AT příkazů ve vlastnostech modemu a to pro protokoly V.34, V.110 a V.120 ve formě zřetězení 2+2 či 3+1 provozních kanálů TCH/F14.4. Zvolená forma V.110 3+1 se projevila zamrzávajícím přenosem s průměrnou hodnotou ve směru downlink cca 25 kbit.s^{-1} , tedy asi jen 60 % kapacity tří provozních kanálů TCH/F14.4. Stabilnějších rychlostí se dosáhne při použití protokolů V.34 či V.120. Přenos ve směru uplink byl bezproblémový, jeden provozní kanál TCH/F14.4 byl využit z cca 85 % podobně jako u CSD.

Paketové přenosy zastupuje technologie GPRS. Ta umožňuje ve své nejvyšší třídě 10 podporované síti dosáhnout při použití kódového schématu CS-4 až $85,6 \text{ kbit.s}^{-1}$ ve směru downlink a $42,8 \text{ kbit.s}^{-1}$. Naměřené hodnoty se však od maximálních velmi liší, dosahují pouze cca 45 %. Z podobných procentuálních hodnot obou směrů přenosu lze s jistou rezervou usuzovat, že na vině je špatná kvalita kanálu a tedy použité kódové schéma s malým poměrem a ne zatížení sítě.

Nejrozšířenější a stále ještě nejpoužívanější jsou přenosy za pomoci technologie EDGE tzv. EGPRS. Technologií jsou pokryta všechna větší města, vždy alespoň jedním z operátorů. EGPRS díky svým vylepšením slibuje až 3 násobný nárůst přenosové rychlosti. Pro srovnání byly změřeny parametry přenosů v síti dvou operátorů s téměř shodnými výsledky. Ve směru downlink bylo dosaženo přibližně 50 % maximální hodnoty při konfiguraci 4+1, řečí absolutních čísel cca 130 kbit.s^{-1} . Ve směru uplink byly v obou případech dosaženo výborných výsledků, naměřená hodnota cca 100 kbit.s^{-1} je přibližně 85 % kapacity dvou časových slotů přidělených tomuto směru v konfiguraci 3+2 třídy 10. Více o třídách a kódových schématech EGPRS lze nalézt v kapitole 4.1.1. Jednotlivá měření GPRS a EGPRS vůči sobě bohužel nelze přímo srovnat, neboť byly měřeny na jiném místě, v jiném čase a za různých podmínek. Toto však ani nebylo pointou měření, ta spočívala v ověření technologie samotné a zde EGPRS rozhodně přínosem vůči GPRS je a to jak v rychlostech přenosu, tak v době odezvy. Přenosy technologií ECSD bohužel nelze otestovat, nejsou implementovány jak ze strany výrobců mobilních telefonů, tak ze strany sítě. Tato situace nastala díky diskutabilnímu využití a postavení na trhu vůči EGPRS.

Síť UMTS je zastoupena nejprve frekvenčním duplexem FDD, který nabízí datový kanál DCH R99 o teoretické maximální přenosové rychlosti 384 kbit.s^{-1} . Výsledky testu byly téměř shodné ve směru downlink i uplink, cca 120 kbit.s^{-1} , což je ale pouze cca 30 % možností tohoto kanálu. Bohužel byly přenosy testovány telefonem bez operačního systému, bez možnosti dalšího ověření kanálových podmínek softwarovou aplikací. Výsledné rychlosti jsou srovnatelné s naměřenými hodnotami technologie EGPRS, ač za jiných podmínek.

Frekvenční duplex TDD je v České republice zastoupen technologií s komerčním názvem „4G“ od společnosti T-Mobile. Jde o čistě datovou síť, ke které je možné se připojit za pomoci datových karet PCMCIA nebo pro sběrnici USB. Rychlost v síti je pro jednoho uživatele omezena na hodnotu 1 Mbit.s^{-1} ve směru downlink a 256 kbit.s^{-1} ve směru uplink. Při měření bylo ve směru downlink dosaženo rychlosti pouze okolo 200 kbit.s^{-1} , tedy asi 20 % deklarované poskytované kapacity kanálu. V uplinku byl tento poměr lepší, jednalo se asi o 60 %, tedy 150 kbit.s^{-1} .

Stejně jako při měření doby odezvy, tak i při přenosu dat exceluje poslední z implementovaných technologií v tuzemských sítích, technologie HSDPA. Nejdále s pokrytím území ČR je společnost Telefónica O2, pokrytí zavádějí ale i ostatní dva operátoři. Telefónica O2 používá ve své síti UMTS technologii spol. Huawei, tak je v rámci HSDPA schopna poskytnout až 5 různých rozprostíracích kódů a je schopna vysílat vždy v následujícím subrámcí, splňuje tedy podmínky třídy 5 a nabízí tak rychlost až $3,6 \text{ Mbit.s}^{-1}$. Podmínky v testovaném prostředí byly sledovány aplikací Fieldtest spuštěnou v operačním systému Symbian telefonu Nokia N96. Z těchto informací šlo vyčíst, že byla aktivní pouze jedna buňka, po dohledání dle označení buňky byla její vzdálenost určena na cca 200 m vzdušnou čarou. Hodnota Ec (zjednodušeně lze říci, že je to odstup síly signálu dané buňky od součtu veškerého signálu v daném kanálu, v dB) byla výborných 2-3 dB. UARFCN kanálu 10564, komunikační frekvence tedy 2112,8 MHz ve směru downlink. Hodnota CQI oscilovala mezi 20-26 z celkových 31. Přiděleno bylo 4-5 rozprostíracích kódů a s nimi souvisejících HS-SCCH kanálů. Udávaný bitrate dle programu Fieldtest kolísal mezi 1700-3200 kbit.s^{-1} . Průměrná naměřená přenosová rychlost ve směru downlink byla téměř 2 Mbit.s^{-1} . Z naměřených hodnot je patrné, že v síti nejsou uplatňována žádná umělá omezení, jak bylo v počátcích reportováno uživateli. Ve směru uplink je nabízen standardní kanál DCH R99 a naměřená hodnota 320 kbit.s^{-1} je téměř 85 % procenty možné kapacity.

Z měření vyplývá pokrok, který mobilní sítě urazily v oblasti nabídky datových služeb. Naměřená hodnota přenosové rychlosti kanálu CSD vs. HSDPA ve směru downlink je téměř 250 násobná, zatímco doba odezvy je rovna jedné desetíně původní doby.

10 Multimediální programy a e-learning

Nedílnou součástí této diplomové práce je interaktivní multimediální výukový program, který rozvádí téma datových přenosů v názorných animacích. Tento program se zařadí do skupiny podobných výukových programů na různá témata týkající se obsahu výuky na katedrách informatiky a telekomunikací, které v konečném výsledku budou sloužit jako doplněk k zavedenému systému přednášek a cvičení pro studenty denního studia, ale také samozřejmě i studentům kombinovaného studia.

Tento výukový program zapadá do konceptu takzvaného e-learningu, což je forma vzdělávání, která využívá široké palety elektronických prostředků k efektivnímu dosažení vzdělávacího cíle. E-learning jako proces využívá informační a komunikační technologie k tvorbě kursů, k distribuci studijního obsahu, komunikaci mezi studenty a pedagogy, realizaci testů, tedy k celkovému řízení studia realizovanému například systémem Moodle.

10.1 Multimediální program na téma datových přenosů

Přenos je určitý proces, který v sobě váže několik po sobě jdoucích kroků. Tyto kroky je mnohdy složité zobrazit ve formě statického obrázku. Pro názorné pochopení se proto více než vybízí zpracování do formy animace. Zpracování těchto animací do jednotné formy, jejich tematické seřazení a zakomponování jednotlivých navigačních prvků pak vytvoří prostředí, které lze nazvat výukovým programem.

Názornou ukázkou tohoto prostředí lze vidět na ukázce v příloze č. 2. Výukový multimediální program byl zpracován v programovém prostředí Adobe Flash, které využívá vhodné vektorové grafiky a které je licencováno v rámci VŠB-TUO. Výukový program se skládá z tematicky jednotného hlavního prostředí s navigační lištou, na které lze kdykoliv stisknutím příslušného tlačítka vyvolat celkové menu uspořádané jako interaktivní seznam jednotlivých generací mobilních sítí. Na liště lze také nalézt tlačítko pro vyvolání slovníčku pojmů. Na opačném konci lišty se nacházejí dvě navigační tlačítka pro pohyb vpřed či vzad mezi generačními kapitolami. Kapitoly jsou tvořeny komponentovým způsobem, kdy je na úvodním snímku vždy uvedeno, co je náplní té určité kapitoly. Následující snímky jsou tvořeny dvěma okny, animačním a textovým, jejich poslání plyne z pojmenování. Pro pohyb mezi snímky jsou v pravém spodním rohu umístěny tlačítka opět pro směr vpřed i vzad. Při přechodu na poslední snímek je o tomto uživatel informován jednoduchou animací u těchto tlačítek. Výukový program je celkově tvořen z více než 170 jednotlivých animovaných snímků.

Program lze nalézt na CD, které je součástí přílohy (příloha č. 3) této práce.

Závěr

Různé typy datových přenosů jsem detailně popsal v jednotlivých částech této práce. Pro případného čtenáře, který využije její multimediální, či pouze textovou podobu je pohled zpět do historie významným přínosem k pochopení přítomnosti, či odhadnutí budoucnosti. Pozdější praktické prověření stručným měřením bylo pro mne osobně ověřením, že teoretické předpoklady se v praxi víceméně projeví naznačeným směrem, i když ne v přesně specifikovaném důsledku. Díky znalosti nabytým z teorie se mi také podařilo odhalit komplikace s nastavením některých přenosů, stejně jako se posléze alespoň pokusit odhadnout a vyhodnotit naměřená data.

Mobilní síť, po saturaci zákaznické poptávky po hlasových službách, určitou dobu postrádaly směr svého dalšího uplatnění. Po váhavých začátcích službou WAP se jejich uplatnění, společně s rozvojem sítě Internet, začalo ubírat směrem k poskytování služeb založených na datových přenosech. Tato skutečnost sama o sobě ovlivnila vlastní vývoj sítě, kde datový provoz, v hrubém zatížení kapacity sítě, získává stále větší a větší podíl. To vedlo k myšlence specifikace sítě 4. generace, která bude plně založena na komunikaci za pomoci IP protokolu, ať už se jedná o poskytování služeb hlasových nebo datových. Teprve budoucnost nám řekne, zda byl tento přerod bolestivý nebo proběhl bez větších problémů. Vše však nasvědčuje tomu, že nastíněný směr je tím správným a vizí poskytovatelů mobilního připojení je ještě větší zakomponování služeb založených na datových přenosech do našeho běžného života. Lednice, která si sama objedná nákup, auto, které samo po havárii zavolá vhodnou pomoc, to vše zní jako hesla levného sci-fi, ale tyto a podobné věci se již v praxi zkoušejí a všechny vyžadují datové spojení, ať už pevným nebo mobilním způsobem.

Literatura

- [1] KRZYSZTOF WESOŁOWSKI.: *Mobile Communication Systems*. West Sussex, England: John Wiley & Sons, Ltd, 2002, s. 157 a 165. ISBN 0-471-49837-8
- [2] JARI OTRANEN.: *Erilaiset langattomat ja mobiilit tiedonsiirtotekniikat* [online]. Poslední aktualizace listopad 1997 [cit.25.1.2010].
URL:<http://www.tml.tkk.fi/Studies/Tik-110.300/1997/Mobile/tekniikat_1.html>
- [3] TIMO ALANKO; MARKKU KOJO; HEIMO LAAMANEN; MIKA LILJEBERG; MARKO MOILANEN; KIMMO RAATIKAINEN.: *Measured performance of Data Transmission Over cellular Telephone Networks*. Poslední aktualizace listopad 1994 [cit. 10.2.2010].
URL: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=205513>>
- [4] MOTOROLA 3WATT.: *AMPS CSC Explained* [online]. Poslední aktualizace 2010 [cit. 15.2.2010].
URL:<http://www.motorola3watts.com/amps_explained.php>
- [5] JÖRG EBERSPÄCHER; HANS-JÖRG VÖGEL; CHRISTIAN BETTSTETTER; CHRISTIAN HARTMANN.: *GSM-Architecture, Protocols and Service*. 3.vydání, West Sussex, England: John Wiley & Sons, Ltd, 2002, s. 58, 108, 139, 212, 234, 264, 266. ISBN 978-0-470-03070-7
- [6] ALEX BRAND; HAMID AGHVAMI.: *Multiple Access Protocols for Mobile Communications: GPRS, UMTS and Beyond*. West Sussex, England: John Wiley & Sons, Ltd, 2002, s. 3, 107. ISBNs 0-471-49877-7
- [7] DR.-ING.ANDREAS WILLIG.: *The GSM Air Interface Fundamentals and Protocols* [online]. Poslední aktualizace 20.5.2003 [cit.28.2010].
URL:<http://www.dcl.hpi.uni-potsdam.de/teaching/mobilitySem03/slides/hpi_gsm_air_interface.pdf>
- [8] NOKIA CORPORATION.: *Non-transparent data transmission in a mobile network* [online]. Poslední aktualizace 27.10.2009 [cit. 1.3.2010].
URL:<<http://www.patents.com/non-transparent-data-transmission-a-mobile-network-7609715.html>>
- [9] WIKIPEDIA.: *Um interface* [online]. Poslední aktualizace 13.2.2010[cit. 4.3.2010].
URL:<http://en.wikipedia.org/wiki/Um_Interface>
- [10] BANAN, M.; WAUNG, W.; TAYLOR, M.: *Internetwork Mobility The CDPD Approach* [online]. Poslední aktualizace 11.6.1996[cit. 8.3.2010].
URL:<<http://www.leapforum.org/published/internetworkMobility/split/node40.html>>
- [11] TIMO HALONEN; JAVIER ROMERO; JUAN MELERO.: *GSM, GPRS and EDGE Performance Evolution Towards 3G/UMTS*. 2.vydání, West Sussex, England: John Wiley & Sons, Ltd, 2003, s. 11, 14, 49. ISBN 0-470-86694-2

- [12] ETSI.: *GSM 07.07 version 7.4.0 Release 98*. ETSI - France, 1999-11, s. 29
- [13] CELLULAR NEWS.: *GPRS classes and coding schemes* [online]. Poslední aktualizace 2010 [cit. 9.3.2010].
URL:<http://www.cellular-news.com/gprs/GPRS_classes_and_coding_schemes.php>
- [14] KARANEN, H.; AHTIAINEN, A.; LAITINEN, L.; NAGHIAN, S.; NIEMI, V.: *UMTS Networks - Architecture, Mobility and Services*. 2. vydání, West Sussex, England: John Wiley & Sons, Ltd, 2005, s. 3, 27, 62 a 75. ISBN 0-470-01103-3
- [15] PROKOPEC, J.: *UMTS Architektura systému* [online], VUT Brno, 2007
URL:<http://www.urel.feec.vutbr.cz/~prokopec/MSMK/lecture/MSMK_4_umts.pdf>
- [16] ETSI MCC.: *Overview of 3GPP Release 4 Summary of all Release 4 Features* [online]. Poslední aktualizace 3.8.2004 [cit. 2010-03-13].
URL:<http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/Rel4%20features_v_2004_07_16.zip>
- [17] ETSI MCC.: *Overview of 3GPP Release 5 Summary of all Release 5 Features* [online]. Poslední aktualizace 9.9.2003 [cit. 2010-03-28].
URL:<http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/Rel5_features_v_2003_09_09.zip>
- [18] HUAWEI.: *HSUPA to Bring a More Exciting 3G Life* [online]. Poslední aktualizace 2010 [cit. 2010-04-10].
URL:<<http://www.huawei.com/innovations/hspa/simpleres.do?id=242&type=technology>>
- [19] HOLMA, H.; TOSKALA, A.: *HSDPA/HSUPA for UMTS*. 1. vydání, West Sussex, England: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, s. 31 a 61. ISBN 0-470-01884-4
- [20] 3G AMERICAS.: *Q&A: EDGE Evolution (EDGE II or Evolved EDGE)* [online]. Poslední aktualizace 2010 [cit. 2010-04-17].
URL:<<http://www.3gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page&pageid=564>>
- [21] NEU-MANN.CZ: *Perspektivní mobilní technologie – MIMO, HSPA+, LTE* [online]. Poslední aktualizace 4.2.2009 [cit. 2010-04-20].
URL:<<http://www.neu-mann.cz/mobilni-komunikace/mobilni-technologie/perspektivni-mobilni-technologie-mimo-hspa-lte/>>
- [22] JADHAV, A.: *What is Single Carrier FDMA (SC FDMA)?* [online]. Poslední aktualizace 7.4.2009 [cit. 2010-04-21].
URL:<<http://wirelesscafe.wordpress.com/2009/04/07/what-is-single-carrier-fdma-sc-fdma/>>
- [23] LESCUYER, P.; LUCIDARME, T.: *Evolved Packet System (EPS) The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS*. 1. vydání, West Sussex, England: John Wiley & Sons, Ltd, 2008, s. 171. ISBN 0-470-05976-0
- [24] NAKAMURA, T.: *LTE Rel-9 and LTE-Advanced in 3GPP* [online]. Poslední aktualizace 19.5.2009 [cit. 2010-04-28].
URL:<http://www.3g4g.co.uk/LteA/LteA_Pres_0905_NttDoCoMo.pdf>

- [25] NAKAMURA, T: *Proposal for Candidate Radio Interface Technologies for IMT-Advanced Based on LTE Release 10 and Beyond (LTE-Advanced)* [online]. Poslední aktualizace 15.10.2009 [cit. 2010-04-29].
URL:< www.3gpp.org/IMG/pdf/2009_10_3gpp_IMT.pdf>

Seznam příloh

Příloha č.1: Detailní výsledky měření.....	I
Příloha č.2: Ukázka z multimediálního výukového programu.....	IV
Příloha č.3: Multimediální výukový program	přiložené CD